ОБМОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Н. В. ВИНОГРАДОВ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛЕНИНГРАД

1946 г.

Утверждено Учебно-производственным советом Министерства трудовых резервов в качестве учебника для ремесленных училищ

В книге приводится описание основных типов обмоток, подготовка к обмотке, бандажирование, сушка и пропитка обмоток и их испытание. Подробно рассмотрены схемы обмоток и вопросы технологического процесса обмотки. В конце книги приведены основные правила по технике безопасности и вопросы организации рабочего места и труда электрообмотчика. Книга составлена по учебной программе Министерства трудовых: резервов и предназначена в качестве учебника для учащихся ремесленных училищ, изучающих специальность электрообмотчика.

Все отзывы об учебнике просьба направлять:
1.Учебно-методическое управление Министерства трудовых новых резервов—Садово-Сухаревская, 16.
2. Госэнергоиздат—Москва, Шлюзовая набережная, д. 10.
Редактор А. Д. Смирнов, технический редактор А. Д. Чаров
Сдано в пр-во 2.VII.1946 г. Подписано к печати 14.X.1946 г.
Объем 121. п. л. 11 уч.-авт. л. Тираж 15000. Формат бумаги 84X108$^{1}/_{32}$ Цена 9 Р.
А-11113. 35200 тип. знаков в 1 печ. л. Заказ № 1182.
Типография Госэнергоиздата МЭС. Москва, Шлюзовая наб., 10

СОДЕРЖАНИЕ Стр.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга является учебником для ремесленных училищ и составлена в соответствии с программой специальной технологии, которую учащиеся проходят параллельно с производственным обучением. Предварительное изучение соответствующих тем способствует более прочному и быстрому освоению операций, снижает возможность производственного брака и устраняет опасность травматизма. При составлении книги учитывалось, что общеобразовательная подготовка учащихся определяется четырьмя классами средней школы и небольшим курсом физики в ремесленном училище. Поэтому изложение материала сделано насколько возможно популярно с минимальным количеством теоретических данных и формул. Тем не менее, в книге охвачены все процессы, смысл которых должен понимать обмотчик 5-го разряда. При изложении материала автор ставил себе целью не научить выполнению той или иной операции, так как это входит в задачу производственного обучения, а лишь объяснить сущность и значение этих операций и дать их техническое обоснование. Основной упор сделан на увязку теоретических основ с производственным выполнением различных операций. Для желающих расширить свои познания в области обмоток электрических машин может быть рекомендована книга Еремеев, Зимин, Каплан, Рабинович, Федоров, Хаккен и Юксик «Обмотки электрических машин».

Н. Виноградов

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ПАЯНИЕ И ЛУЖЕНИЕ

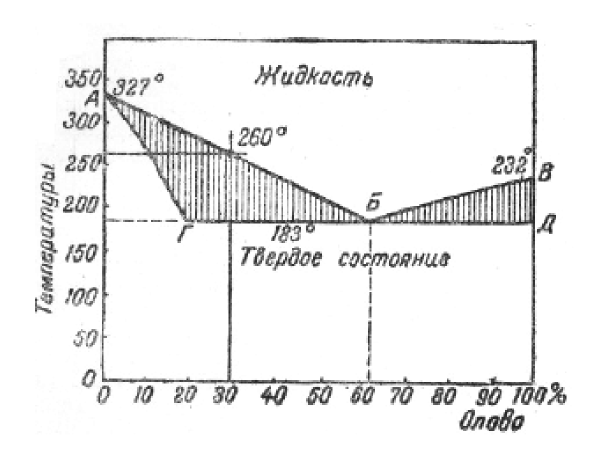
1. СВИНЦОВО-ОЛОВЯННЫЕ ПРИПОИ

В электрических машинах паяние и лужение имеют очень широкое применение. Лужение применяется как средство получения надежного, не окисляемого контакта между двумя медными деталями, по которым пропускается электрический ток. Так, например, лужению подвергаются все кабельные наконечники, клеммы межкатушечных соединений и выводные различного рода соединительные пластинки, концы токособирательных шин и т. п. Кроме перечисленных деталей, которые скрепляются между собой болтами, лужение применяется для деталей, подлежащих спайке. Например, облуживаются выводные концы обмоток, стенки шлицев коллекторных пластин, отверстия кабельных наконечников, в которые впаиваются концы гибкого кабеля, и т. д. Что касается паяния, то оно применяется или как средство для скрепления частей обмоток, например, соединение обмоток с коллектором, междуфазных соединений в трехфазных обмотках, соединение лобовых частей катушечных обмоток, выполняемых из открытых заготовок катушек, вставляемых в закрытые пазы, или как дополнительное средство для получения надежного контакта. Так, например, соединительные муфты между катушками в машинах, подверженных тряске, кроме скрепления винтами еще и пропаиваются, благодаря чему винты предохраняются от самоотвертывания; петушки из ленточной меди приклепываются к коллекторным пластинам и, кроме того, еще пропаиваются для обеспечения надежного контакта. Из перечисленных примеров видно, что ни одна электрическая машина не обходится без применения лужения и паяния. В подавляющем большинстве случаев лужение и паяние производятся свинцово-оловянными припоями. Лишь в машинах, подверженных очень сильным нагревам, отдельные контактные места пропаиваются твердыми, обычно серебряными припоями. В последнее время в обмотках машин переменного тока, а также для наращивания медных шин стали применять сварку дуговую или контактную. Свинцово-оловянные припои представляют собой сплавы из свинца и олова с различным процентным содержанием

каждого из этих металлов. Чистое олово имеет серебристо белый цвет с голубоватым оттенком. Посторонние примеси придают ему желтоватый оттенок и сильно уменьшают его блеск. Температура плавления олова 232°; удельный вес 7,3. Олово очень пластично, обладает высокой ковкостью и хорошо поддается прокатке в тонкие листы и фольгу. Чистое олово на воздухе не изменяется, почти не теряет своего серебристого блеска и лишь со временем покрывается легкой пленкой окиси перламутрового цвета. Олово является дефицитным и дорогим металлом и в чистом виде применяется очень редко, а в основном идет на составление свинцово-оловянных припоев. Исключение представляют бандажи и коллекторы очень ответственных машин, которые в целях повышения теплостойкости пропаиваются чистым оловом. Свинец имеет синевато-серый цвет, блестящий в свежем разрезе и тускнеющий на воздухе. Свинец —самый мягкий и пластичный из металлов. Он хорошо куется и прокатывается в тонкие листы в холодном виде, но становится хрупким при температурах, близких к точке его плавления. Температура плавления свинца 327°; удельный вес 11,3. При обращении со свинцом, особенно при изготовлении его сплавов, следует иметь в виду, что соединения свинца с другими веществами очень ядовиты. Во избежание отравления необходимо строго соблюдать все установленные правила профсанитарии и гигиены. В электромашиностроении свинец в чистом виде применяется в качестве балансировочных грузов благодаря его высокой пластичности и большому удельному весу, а также как составная часть свинцово-оловянных припоев. Для получения металлического сплава необходимо в одном металле растворить другой. Таким образом, свинцово-оловянный сплав в жидком виде представляет собой раствор олова в свинце или свинца в олове в зависимости от того, какого из металлов в сплаве будет больше. Свинцово-оловянные припои применяются с самым разнообразным содержанием олова. На чертежах эти припои обозначаются тремя буквами ПОС (припой оловянно-свинцовый) и цифрами, обозначающими процентное содержание олова. Например, ПОС-30 содержит 29—30% олова, 1,5 — 2% сурьмы и 68—69,5% свинца. На выбор той или иной марки свинцово-оловянного припоя влияют следующие соображения: характер пайки, текучесть сплава, стоимость сплава и температура его плавления.

2. ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕНТНОГО СОДЕРЖАНИЯ КОМПОНЕНТОВ НА ТЕМПЕРАТУРУ ПЛАВЛЕНИЯ

Свойства сплавов всегда отличаются от свойств составляющих их металлов (компонентов). Температура плавления сплава всегда ниже, чем температура плавления наиболее тугоплавкого из его компонентов. Встречаются и такие сплавы, температура плавления которых ниже температуры плавления любого из составляющих металлов. Подробными исследованиями установлено, что сплав, состоящий из 63% олова и 37% свинца, имеет самую низкую температуру плавления 183°, которая ниже температуры плавления, как свинца, так и олова. Этот сплав широко применяется в качестве припоя и известен под названием «третник», так как он содержит около 2/3 олова и 1/3 свинца. Все другие свинцово-оловянные сплавы имеют более высокую температуру плавления. Кроме того, для других сплавов переход из жидкого состояния в твердое происходит не при одной температуре, а на некотором интервале (промежутке) температур.

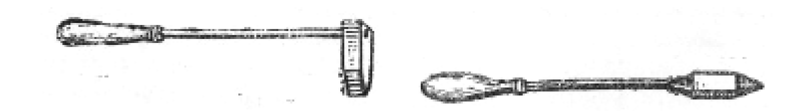


Фиг. 1. Диаграмма плавления свинцово-оловянных припоев.

Свойства свинцово-оловянных сплавов очень наглядно изображены на диаграмме (фиг. 1). Эта диаграмма построена следующим образом: на горизонтальной стороне рамки отложены в некотором произвольном масштабе числа, обозначающие процентное содержание в сплаве олова, а на левой вертикальной стороне — температуры. Линия АБВ показывает температуры начала затвердевания жидкого сплава при охлаждении, а линия АГД— конец затвердевания. Например, если взять свинцово-оловянный сплав, содержащий 30% олова и 70% свинца, нагретый до температуры 350°, то при охлаждении с ним будет происходить следующее: при опускании температуры от 350 до 260° сплав будет еще находиться в жидком состоянии, при температуре 260° начинается затвердевание сплава, но он не сразу делается твердым, а в промежутке температур от 260 до 183° сплав находится в полужидком (полутвердом) состоянии и, наконец, при температуре 183° переходит в твердое состояние.
На диаграмме температуры начала и конца затвердевания сплава находятся таким образом: на нижней рамке диаграммы берем точку, характеризующую данный сплав по содержанию олова (в нашем примере 30%), и проводим вверх вертикальную линию, параллельную линии температур, до пересечения с линией АБ. Из точки, пересечения проводим горизонтальную линию до пересечения с линией температур. Это пересечение произошло на участке между числами 250 и 300, но ближе к 250, что соответствует температуре 260°. Таким образом, в треугольниках АБГ и БВД длина штриха обозначает интервал температур, между которыми происходит переход сплава из жидкого состояния в твердое. Этот интервал имеет большое значение при пайке свинцово-оловянными припоями, в тех случаях, когда припой намазывается на запаиваемые изделия. Чем больше этот интервал, тем больше времени припой находится в полутвердом состоянии и тем лучшими намазывающими свойствами он обладает. Наоборот, в тех случаях, когда при пайке желательно, чтобы припой затвердевал быстрее, следует выбирать припой с малым интервалом температур затвердевания. На диаграмме видно, что наиболее быстро затвердевает сплав из 63% олова и 37% свинца. Поэтому он очень хорошо подходит для пайки коллекторов.

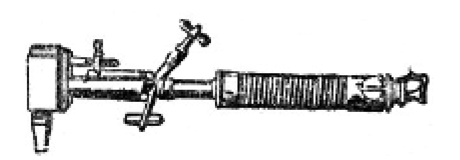
3. ПАЯЛЬНИКИ И ПАЯЛЬНЫЕ ЛАМПЫ

Паяльник представляет собой цилиндрический или призматический кусок красной меди, укрепленный на стальном стержне с ручкой. Различают паяльники молотообразной формы (фиг. 2) и торцевые (фиг. 3). Рабочий конец паяльника бывает срезан или заострен. Вес паяльника колеблется в пределах от 250 г до 2 кг. Лучшим материалом для паяльников является чистая электролитическая медь. Она обладает высокой теплоемкостью, благодаря чему паяльник запасает большое количество тепла, и хорошей теплопроводностью, что способствует быстрой передаче тепла от массы паяльника к его рабочей части.



Фиг. 2. Паяльник молотообразной формы. Фиг. 3. Торцовый паяльник.

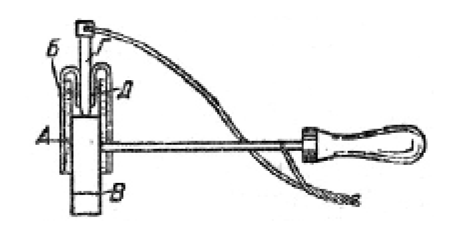
Паяльники бывают двух видов — периодически нагреваемые и непрерывно нагреваемые. В первом случае паяльник действует как собиратель тепла: он собирает тепло при нагревании и отдает его во время пайки. Температура паяльника при пайке свинцово-оловянными припоями должна быть не выше 600° и не ниже 200°. При нагреве выше 600° медь начинает разрушаться не только от окисления, но, главным образом, от поглощения олова, причем медь становится твердой и хрупкой. Для подогревания паяльников требуется яркое, не коптящее пламя, какое дают паяльные лампы. На нагревание паяльника уходит в 3 раза больше времени, чем занимает сама пайка, поэтому паяльщик должен пользоваться несколькими паяльниками. У паяльников непрерывного действия источник тепла расположен непосредственно на самом паяльнике, и поэтому температура его поддерживается почти постоянной. Преимущество таких паяльников перед периодически нагреваемыми заключается в том, что они позволяют производить пайку непрерывно, а следовательно, более равномерно и производительно, а материал паяльника ввиду отсутствия сильных перегревов служит значительно дольше. Для нагревания паяльников непрерывного действия служат горелки, встроенные в конструкцию паяльника, питаемые газовым (светильный газ, ацетилен, водород) или жидким (бензин, спирт) топливом. Газообразное топливо подводится по трубкам, а запас жидкого топлива помещается в резервуаре, расположенном в ручке паяльника (фиг. 4). В настоящее время широкое распространение получили электрические паяльники (фиг. 5). При работе с электрическим паяльником отсутствуют вредные газы, разъедающие полуду наконечника. Нагревательное устройство рассчитано таким образом, что паяльник не может перегреваться, отчего пайка получается чистой и высококачественной. В качестве нагревательного элемента применяется спираль из нихрома или фехраля. В электрических паяльниках, включаемых непосредственно в сеть напряжением 120 или 220 В. Для получения требуемого сопротивления спирали приходится выбирать очень тонкую проволоку, толщиной в несколько сотых миллиметра, которая часто перегорает. Поэтому для питания электрических паяльников в заводских условиях желательно применять пониженное напряжение, включая паяльники в сеть через специальный трансформатор. Для пайки крупных предметов очень хорошо себя зарекомендовали электрические паяльники, у которых источником тепла является не спиральное сопротивление, а вольтова дуга, которая горит между угольным электродом и медным стержнем (фиг. 6). Такой паяльник работает безотказно.



Фиг. 4. Паяльник, нагреваемый бензиновой горелкой.



Фиг. 5. Электрический паяльник с нагревательной спиралью.



Фиг. 6. Электродуговой паяльник.
А— асбестовая изоляция; Б— стальная обойма; В—медный стержень; Г— угольный электрод; Д—держатель электрода.

4. СОСТАВЫ ФЛЮСОВ ДЛЯ ПАЙКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Для получения прочного соединения посредством пайки необходимо, чтобы спаиваемые поверхности была тщательно очищены от грязи, жирных пятен и всяких посторонних примесей. Эта очистка может быть произведена механическим способом при помощи напильника, шабера и наждачной бумаги. Но кроме грязи на поверхности металла всегда имеется пленка окиси, которую недостаточно удалить перед началом пайки, а необходимо еще предохранить металл от окисления в процессе самой пайки. Такая защита достигается применением специальных химических веществ, получивших название флюсов. По характеру действия флюсы можно разбить на две группы. К первой группе принадлежат флюсы, которые растворяют пленку окиси металла, а иногда и самый металл. Эта группа флюсов производит весьма энергичное действие очищения. К ней относятся: соляная кислота, хлористый цинк, борная кислота, бура и др. В электромашиностроительном производстве флюсы этой группы находят ограниченное применение, так как они действуют разъедающим образом на медь, свободные остатки флюсов вызывают коррозию металлов, а пары их, выделяемые в процессе пайки, разъедают изоляцию проводников. Места пайки требуют обязательной промывки в горячей проточной воде, что может быть допущено только при пайке голых медных шин вне машины. Вторая группа флюсов не производит никакого химического действия, а служит лишь для образования защитного покрытия поверхности, ранее очищенной каким-либо химическим способом. К этой группе относятся канифоль, воск, вазелин и др. Наибольшее распространение в электротехнике имеет канифоль, применяемая в виде порошка или раствора в бензине или спирте. Канифоль приготовляется из сосновой смолы. Ценным свойством канифоли является то, что она не только совершенно не дает коррозии и не выделяет паров, разъедающих изоляцию, но даже защищает место пайки от наружной коррозии твердой сплошной пленкой, образующейся по окончании пайки. Пленка эта водонепроницаема, и, таким образом, смоляные кислоты, остающиеся на шве пайки, утрачивают свою активность под этой пленкой. Большое распространение получили также специальные пасты, приготовляемые из различных флюсующих материалов. Ниже приводятся рецепты и способы приготовления паяльных флюсов, применяемых при производстве электрических машин.

1. Флюс для лужения медных шин. Применяется при лужении голых медных шин, имеющих загрязненную поверхность.

Состав флюса:

Хлористый цинк 58

Хлористый аммоний 42%

Способ приготовления:

1) Загрузить в фарфоровый стакан хлористый цинк и хлористый аммоний, тщательно перемешать в однородную массу и растворить в четырех частях воды.

2) Добавить спирт-сырец в количестве 20% от общего объема флюса. После лужения необходимо детали тщательно промыть в теплой воде для предохранения от окисления.

2. Паяльная паста. Применяется при пайке свинцово-оловянным припоем в тех местах, где поверхностная проводимость не имеет значения.

Состав пасты:
Вазелин технический 65%
Канифоль 2,5%
Хлористый цинк 20
Хлористый аммоний 2%
Сало 5%
Дистиллированная вода 5,5%
Способ приготовления:
1) Загрузить в эмалированную посуду канифоль, нагреть до 120—130° и в расплавленную массу добавить вазелин, производя перемешивание смеси.
2) Растворить в подогретой до 30° воде нашатырь, добавить хлористый цинк и после тщательного перемешивания остудить до 25°.
3) Загрузить в эмалированную посуду сало и хлористый цинк с нашатырем двумя порциями и тщательно перемешивать до получения однородной эмульсии.
4) Полученную эмульсию переложить в ступку, добавить предварительно подготовленную канифоль с вазелином и при помощи фарфорового пестика тщательно растереть до получения однородной массы. Температура массы при растирании не должна превышать 30°.
5) Пропустить растертую массу несколько раз через краскотерку до получения совершенно однородной пасты темно-желтого цвета, густой и прозрачной.
3. Канифольный флюс. Для пайки и лужения свинцово-оловянным припоем всех токоведущих частей электрических машин, как, например: концов секций, катушек, шин, коллекторных и соединительных пластин, кабельных наконечников и т. д. Можно применять очищенную канифоль в сухом виде или в случае неудобства применения сухой канифоли (например, для пайки в ванне концов секций в коллектор) — раствор канифоли в бензине или спирте в пропорции 1:1 по весу.

5. ПАЯНИЕ ТВЕРДЫМИ ПРИПОЯМИ

Пайка твердыми припоями применяется в электрических машинах, подверженных высоким нагревам, при которых свинцово-оловянные припои уже начинают размягчаться. Твердая пайка занимает промежуточное место между пайкой мягкими припоями и сваркой металлов. Температура плавления твердых припоев выше, чем свинцово-оловянных, но должна быть ниже температуры плавления спаиваемых металлов. В электрических машинах для твердой пайки применяются чаще всего серебряные припои, состоящие из цинка, серебра и меди в различных пропорциях, так как они обеспечивают высокую электропроводность мест пайки. В следующей таблице приводятся свойства и состав серебряных припоев, применяемых для твердой пайки меди.

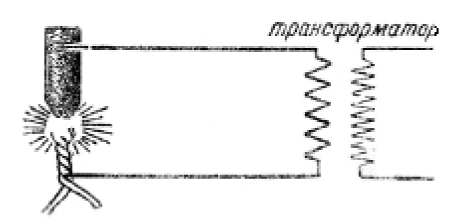
Химический состав, %			Температура плавления, град.	
Цинк	Серебро	Медь	конец	начало
14	66	20	729	721
5	75	20	771	740

Добавка цинка (или кадмия), как видно из таблицы, снижает температуру плавления припоя. Твердые припои применяются в виде порошков или фольги, которая закладывается в место пайки. При папке твердыми припоями для подогревания деталей лучше всего пользоваться ацетиленокислородным или воздушно-ацетиленовым пламенем. Если производится пайка изолированных деталей, как, например, соединение лобовых частей разрезных обмоток, то применение пламени горелки недопустимо, так как оно имеет высокую температуру и большую зону действия, поэтому от него невозможно защитить изоляцию прилегающих к месту пайки частей обмотки. В таких случаях в качестве источника тепла пользуются

электрическим током, пропуская его через место стыка спаиваемых концов обмотки. Сопротивление этого стыка вызывает выделение тепла в нем. Ток подводится к стыку через губки специальных щипцов, представляющих собой переносный аппарат, аналогичный по устройству аппаратам для точечной сварки. При этом способе требуемая температура развивается только в узкой зоне, а отсутствие открытого пламени обеспечивает сохранность изоляции от обгорания. Припой вносится между спаиваемыми проводниками в виде нарезанных кусочков фольги. В качестве флюса обычно пользуются бурой.

6. СВАРКА СОЕДИНЕНИЙ В ОБМОТКАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

В некоторых обмотках, например, в обмотках статоров, для соединения проводников вместо спайки концов проводников применяется электрическая дуговая сварка. Концы секций предварительно зачищаются и скручиваются, как показано на фиг. 7. Один полюс источника тока подключается к проводникам обмотки, а другой — к угольному электроду, вделанному в электрододержатель с деревянной ручкой. Для предохранения работающего от поражения электрическим током аппарат питается пониженным напряжением 12— 30 В через трансформатор. Электрод прикладывают к месту сварки, а затем отводят его на небольшое расстояние. При этом в месте разрыва загорается вольтова дуга, которая оплавляет концы скрученных между собой проводников, чем обеспечивается прочный и надежный контакт между ними. Применение сварки взамен пайки концов свинцово-оловянными припоями дает большую экономию рабочего времени, припоев и флюса.



Фиг. 7. Сварка соединений в обмотке статора.

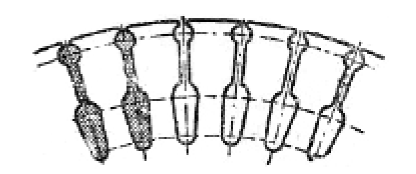
В последнее время сварка стала применяться для стержневых обмоток ротора, что значительно повысило надежность электродвигателей, так как при пайке свинцово-оловянными припоями соединения часто распаивались при работе электродвигателя, что выводило его из строя.

7. ПАЯНИЕ АЛЮМИНИЯ

Алюминий по электропроводности занимает следующее место после меди. Однако, он не нашел применения в обмотках электрических машин, так как его удельное сопротивление все же в 1,5 раза больше, чем меди, и соответствующее увеличение сечения проводников повело бы к сильному увеличению размеров пазов, а следовательно, и размеров машин.

Единственное место, где алюминий широко применяется, это — беличьи клетки роторов с короткозамкнутой обмоткой, где увеличенное сопротивление клетки повышает пусковой момент электродвигателя, а нагрев допускается больший, чем для других обмоток, так как эти роторы выполняются без изоляции. Алюминиевая беличья клетка заливается в пазы ротора (фиг. 8) и отливается как одно целое с замыкающими кольцами. Поэтому применение пайки алюминия в электрических машинах может встречаться лишь как средство для исправления брака литья беличьих клеток ротора или других алюминиевых отливок.

Пайка алюминия и его сплавов обычными методами невозможна, так как алюминий, соприкасаясь с кислородом воздуха, очень быстро покрывается тонкой пленкой окиси, которая препятствует пайке. Однако в настоящее время найдены способы, позволяющие производить пайку алюминия как мягкими, так и твердыми припоями. Разработаны припои, которые хорошо пристают к чистому (отшаброванному) алюминию без всяких флюсов.



Фиг. 8. Ротор с беличьей клеткой из алюминия.

Для исправления дефектов на алюминиевых деталях применяют такой способ: место, подлежащее пайке, зачищают напильником, накладывают кусочки припоя и нагревают паяльной лампой до расплавления припоя. Затем расплавленный припой растирают при помощи стальной проволочной щетки, пока он не пристанет к поверхности. После этого заливают место пайки расплавленным припоем. Припой состоит из 60,6% олова, 24,3% цинка и 15,1% кадмия (в весовом отношении). Температура плавления припоя 200° С.

ГЛАВА ВТОРАЯ
ПОДГОТОВКА К ОБМОТКЕ ЯКОРЯ, РОТОРА И СТАТОРА
8. ФОРМЫ ПАЗОВ И ИХ ОБРАБОТКА

В современных электрических машинах обмотки располагаются по окружности якоря, ротора или статора и закладываются в специальные канавки, которые носят название пазов. Пазы равномерно распределены по окружности и отделены один от другого выступающими частями, которые носят название зубцов. Якорем называется вращающаяся часть машин постоянного тока, ротором — вращающаяся часть машин переменного тока, а неподвижная часть у этих машин получила название статор. Выполнение, и устройство обмоток зависят от формы пазов, в которые обмотки закладываются. В основном пазы можно разбить на три характерных типа (фиг. 9): открытые, полуоткрытые и закрытые.

1. В открытые паз вкладываются заранее изготовленные и изолированнее секции, выполненные из изолированных или голых проводников. Такие обмотки применяются преимущественно в якорях машин постоянного тока средней и большой мощности, а также в статорах крупных машинах переменного тока.

2. В полуоткрытые пазы, заранее намотанные, но не изолированные секции, вкладываются по одному проводнику через шлиц (щель) паза. Такие обмотки называются насыпными и применяются для якорей и роторов машин малой мощности и для статоров машин малой и средней мощности.

3. При закрытых пазах производится ручная обмотка впротяжку из изолированного провода или вставляются заготовленные в виде вилки секции или стержни. Такие обмотки применяются в роторах и статорах машин переменного тока.



9. Формы пазов.

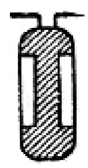
Пакеты ротора, якоря и статора набираются всегда из тонких листов специальной электротехнической стали толщиной 0,5 мм, которые штампуются с пазами соответствующей формы на эксцентриковых прессах. При сборке отдельных листов на вал или в корпус неизбежно получаются некоторые сдвиги между ними, поэтому после прессовки пакета, стенки пазов получаются не гладкими, а шероховатыми, с выступающими внутрь паза острыми заусенцами, которые легко могут прорезать изоляцию обмотки.

Поэтому перед началом обмотки пазы должны быть предварительно обработаны. Обработка стенок паза может быть произведена тремя способами:

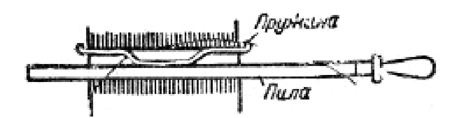
1) рихтованием (фиг. 10) при помощи стальных клиньев;

2) опиловкой (фиг. 11) при помощи пилы, которая для облегчения работы и уменьшения изгиба отжимается от противоположной стенки паза плоской пружиной;

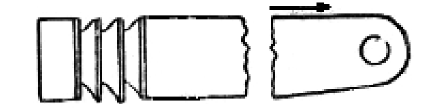
3) дорнованием при помощи специальной каленой протяжки с режущими кромками, которые срезают выступающие заусенцы и удаляют их в виде стружек (фиг. 12). Ввиду большого усилия, требующегося для протаскивания протяжки, эта работа производится на специальном станке, причем паз обрабатывается одним проходом протяжки.



Фиг. 10. Рихтование паза стальными клиньями.



Фиг. 11. Опиловка паза.



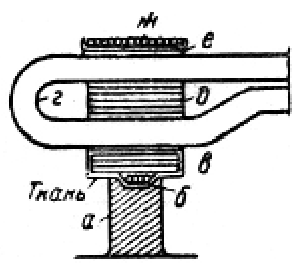
Фиг. 12. Дорн для паза.

Из перечисленных трех способов последний обладает значительными преимуществами перед двумя другими. При дорновании стенок паза получается гарантированный размер для укладки секций, отсутствуют замыкания между отдельными листами якоря и тем самым уменьшаются потери и, наконец, значительно ускоряется процесс обработки пазов за счет замены ручного труда машинным. После обработки пазы должны быть тщательно очищены от металлической пыли и разных посторонних тел при помощи металлической щетки и продуванием струи сжатого воздуха. Якорь, ротор или статор внимательно осматриваются, чтобы убедиться в том, что в пазах не осталось острых краев, кромок или заусенцев, могущих повредить изоляцию обмотки. Затем стенки пазов покрываются лаком воздушной сушки при помощи кисти или пульверизатора. Покрытие лаком производится для того, чтобы в процессе работы машины на них не образовывалась ржавчина, способная разъедать изоляцию. Кроме того, слой лака является дополнительной изоляцией секций по отношению к корпусу.

9. ИЗОЛЯЦИЯ ОБМОТКОДЕРЖАТЕЛЕЙ

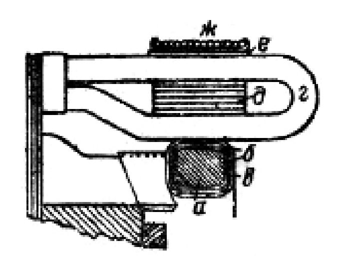
Выступающие из паза части обмотки называются лобовыми частями обмотки. Для того чтобы при вращении лобовые части якоря и ротора не отгибались в сторону статора под действием центробежной силы, они стягиваются несколькими витками стальной проволоки, которые носят название бандажа. В качестве опоры для лобовых частей служат насаженные па вал специальные детали, которые называются обмоткодержателями. Форма обмоткодержателей бывает различной в зависимости от формы лобовых частей обмотки и конструкции электрической машины. Для того чтобы предохранить лобовые части обмотки

от замыкания на корпус, обмоткодержатели должны быть изолированы. Материалы для изолировки обмоткодержателей выбираются в соответствии с классом изоляции самих секций. Обычно в чертежах не содержится исчерпывающих данных по изолировке обмоткодержателей, а указывается только характер применяемых материалов и общая толщина изоляции.

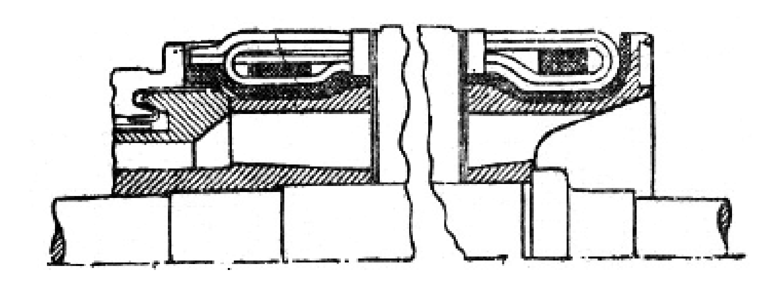


Фиг. 13. Обмоткодержатель открытого типа задней стороны якоря.
а — обод обмоткодержателя; б — шпагат; в— прессшпановые полоски; г - головка секции; д — прессшпановые прокладки; е—изоляция под бандажом; ж — проволочный бандаж.

Поэтому определение размеров заготовок изоляционных материалов и числа слоев для получения требуемой толщины, а также способа укрепления отдельных слоев изоляции обмотчику приходится делать самостоятельно. Ниже приводятся примеры изоляции обмоткодержателей открытого типа (фиг. 13, 14) и закрытого типа (фиг. 15) для машин постоянного тока. Изолировка обмоткодержателей с задней стороны якоря (противоположной коллектору) производится следующим образом (фиг. 13). Наружная поверхность обода окрашивается шеллачным или бакелитовым лаком, после чего на нее наматывается по всей окружности полоса хлопчатобумажной ткани шириной несколько больше тройной ширины обода. Эта ткань накладывается так, чтобы свешивание полосы с обеих сторон обода, а было одинаковым.



Фиг. 14. Обмоткодержатель передней стороны якоря.
а—кольцо обмоткодержателя; б— киперная лента, в—лента из лакоткани; г—головка секции; д— прессшпановые прокладки; е— изоляция под бандажом; ж—проволочный бандаж.



Фиг. 15. Обмоткодержатели закрытого типа.

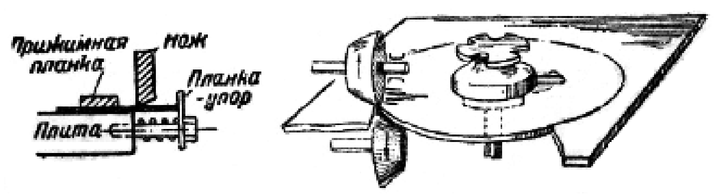
Полоса ткани укрепляется шпагатом *б*, который наматывается в несколько витков в канавке обода, как изображено на фиг. 13. Полоса ткани, лежащая на ободе, промазывается шеллачным или бакелитовым лаком. Поверх шпагата и ткани накладываются заранее

заготовленные полосы прессшпана *в*, которые шире обода обмоткодержателя на 10—15 мм. Для удерживания слоев прессшпана служит лента, которая наматывается непрерывно в несколько слоев, а под нее в процессе намотки подкладываются полосы прессшпана, смазанные шеллачным или бакелитовым лаком. Таким образом, все слои прессшпана плотно облегают обод обмоткодержателя, и после засыхания лака превращаются в сплошной пакет.
После того, как все слои прессшпана, необходимые для получения требуемой толщины изоляции, уложены, края полосы ткани разрезаются в нескольких местах и завертываются на верхний слой прессшпана, предварительно смазанный лаком. При этом ткань тщательно выравнивается, чтобы на ее поверхности не было пузырей и крупных морщин, и сверху по всей ширине обода затягивается изоляционной лентой в один слой. Обмоткодержатель передней стороны якоря (сторона коллектора, фиг. 14) представляет собой кольцо, укрепленное на ребрах. Для изолировки такого обмоткодержателя кольцо по всей окружности смазывается лаком и обертывается четырьмя-пятью слоями киперной или миткалевой ленты толщиной 0,25—0,40 мм. Поверх киперной ленты наматывается лента из лакоткани толщиной 0,2 мм в один слой с полуперекрышкой. При изолировке обмоткодержателей толщина изоляции должна быть подобрана таким образом, чтобы лобовые части обмотки по выходе из паза опирались на изоляцию обмоткодержателей. Если толщина изоляции будет меньше, чем требуется, то лобовые части будут в местах выхода из паза прогибаться вниз давлением бандажа, что может повести к пробиванию на корпус. Если же изоляция обмоткодержателей будет иметь излишнюю толщину, то бандаж может выйти за пределы окружности якоря. На фиг. 15 приведен пример изоляции обмоткодержателей закрытого типа для машины постоянного тока. Изоляция обмоткодержателя со стороны коллектора в принципе не отличается от способа, который описан ранее (фиг. 13). Нарезанные заранее полосы из изоляционного материала требуемой ширины обертываются вокруг обмоткодержателя и затягиваются киперной лентой. Изолировка обмоткодержателя закрытого типа со стороны, противоположной коллектору (фиг. 15), представляет некоторые особенности по сравнению с описанными выше способами. Эти особенности вытекают из того, что поверхность обмоткодержателя состоит из двух пересекающихся поверхностей: плоской и цилиндрической. Плоская торцевая часть обмоткодержателя изолируется при помощи изоляционных дисков с надрезанными краями, а цилиндрическая — полосами изоляционного материала, которые укладываются под ленту, перекрывая друг друга и отвороты изоляционных дисков. Таким образом, на поверхности обмоткодержателя образуется сплошной слой изоляции, толщина которой должна быть такой, чтобы лобовые части обмотки плотно к ней прилегали. В местах выхода секций обмотки из пазов изоляция должна быть намотана вровень с основаниями пазов якоря.

10. РЕЗКА ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Для достижения экономного раскроя листов изоляции для каждой машины вырезаются шаблоны отдельных изоляционных прокладок. На шаблоне пишется тип машины и количество прокладок. При помощи таких шаблонов производится разметка листов изоляции, причем обрезки и отходы, остающиеся после вырезки изоляционных прокладок для крупных машин, используются для изоляции малых машин. Благодаря этому получается очень высокое использование площади листа. Его можно достигнуть, однако, только в том случае, если изоляционные прокладки для всех машин заготовляются заранее и хранятся в цеховой кладовой. Для резки изоляции применяются рычажные ножницы (фиг. 16). Планка-упор устанавливается на таком расстоянии от режущей кромки ножа, чтобы получались полосы требуемой ширины. Прижимная планка приводится в действие ногой и исключает необходимость придерживать лист изоляции вблизи от кромки ножа, что в значительной степени повышает безопасность работы. При работе на рычажных ножницах одна рука все время находится на рукоятке ножа, а другая подает материал после каждой резки до упора в планку. Для вырезки изоляционных дисков служат роликовые ножницы (фиг. 17). Квадраты,

нарезанные на рычажных ножницах, надеваются на оправку ножниц. При этом вращающиеся круглые ножи вырезают окружность, радиус которой определяется установкой ножниц.



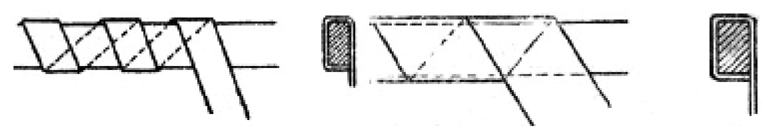
Фиг. 16. Рычажные ножницы. Фиг. 17. Роликовые ножницы.

Для резки мелких изоляционных деталей сложной формы, изготовляемых из отходов изоляционных материалов, применяются ручные ножницы. Для массовой заготовки мелких изоляционных деталей с непрямолинейным контуром применяется штамповка на эксцентриковых прессах.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ
ИЗОЛИРОВКА ЛЕНТОЙ ПРОВОДНИКОВ И ЛОБОВЫХ ЧАСТЕЙ ОБМОТКИ
11. СПОСОБЫ ИЗОЛИРОВКИ ЛЕНТОЙ

Для обмоток электрических машин применяются два вида проводников: изолированные и голые. Изолированные проводники покрываются изоляцией на кабельном заводе, а голые изолируются в процессе изготовления обмоток на электромашиностроительном заводе.
Наиболее употребительны следующие марки изолированных проводников:
ПЭ — провод с эмалевой изоляцией; ПШО —провод с одним слоем шелковой обмотки; ПШД — провод с двумя слоями шелковой обмотки; ПБО — провод с одним слоем хлопчатобумажной обмотки; ПБД — провод с двумя слоями хлопчатобумажной обмотки; ПЭШО — провод с эмалевой изоляцией и одним слоем шелковой обмотки; ПЭШД — провод с эмалевой изоляцией и двумя слоями шелковой обмотки; ПЭБО — провод с эмалевой изоляцией и одним слоем хлопчатобумажной обмотки; ПЭБД — провод с эмалевой изоляцией и двумя слоями хлопчатобумажной обмотки. Для обмоток, выполненных из изолированных проводников, дополнительной изоляции между витками не требуется, и поэтому лентой изолируются либо намотанные секции по всему контуру, либо только лобовые части обмотки. Обмотки, имеющие большое сечение проводников, обычно прямоугольной формы, изготовляются из голых проводников. В этом случае при изготовлении секций обмотки сначала каждый проводник в отдельности обматывается лентой для получения междувитковой изоляции, а затем эти проводники складываются вместе и снова обматываются лентой для изоляции от корпуса. При изолировке проводников или секций обмотки лентой различают три способа: вразбежку, встык и вполуперекрышку.
Изолировка вразбежку (фиг. 18) применяется только для стягивания отдельных проводников секции в один пакет в процессе ее изготовления. Обычно эта лента снимается после того, как проводники секции склеились между собой под действием прессовки. Изолировка встык (фиг. 19) производится таким образом, что при каждом обороте ленты вокруг проводника кромки ленты плотно прилегают одна к другой, но при этом ни в одном месте не должно быть накладывания ленты в два слоя, так как это повлечет к утолщению секции по сравнению с ее расчетными размерами. Таким образом, вся поверхность проводника покрывается лентой, но в местах стыков ленты изоляцией между соседними проводниками служит только слой воздуха, равный толщине ленты. Поэтому изолировка встык применяется только для низковольтных машин или повторяется два раза, причем таким образом, чтобы стыки между оборотами ленты во внутреннем слое изоляции перекрывались шириной ленты второго слоя. При двухслойной изолировке встык проводник всюду покрыт двумя слоями ленты, но пробивное напряжение рассчитывается на толщину одного слоя

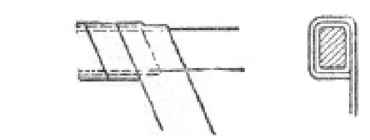
ленты, т. е. для тех мест, в которых расположен стык кромок ленты в одном из слоев. Если обмотка изготовляется для высоковольтной машины, то число слоев ленты увеличивается и доходит в некоторых машинах до 10—12.



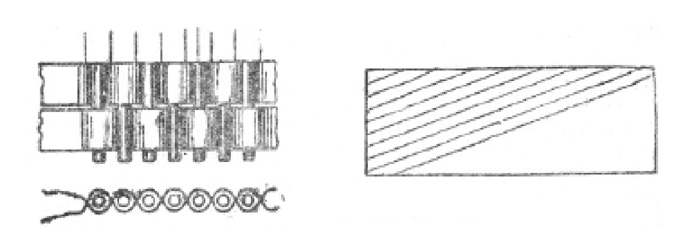
Фиг. 18. Изолировка лентой вразбежку. Фиг. 19. Изолировка лентой встык.

Изолировка проводников или секций вполуперекрышку применяется взамен изолировки встык и имеет то преимущество, что число обходов по контуру секции сокращается в два раза, но зато увеличивается число оборотов ленты. Изолировка вполуперекрышку (фиг. 20) заключается в том, что при каждом обороте вокруг проводника лента накладывается так, что она перекрывает предыдущий оборот на половину ширины ленты. Таким образом, при изолировке вполуперекрышку проводник за один обход сразу покрывается двойным слоем ленты. При этом на пробивание изоляции будет, как и в предыдущем случае, работать только один слой. Этот способ изолировки известен также под названием изолировки внахлестку. Очевидно, что этим способом можно получить только четное число слоев ленты. Поэтому, если требуется, например, изолировать секцию семью слоями ленты, то надо сделать четыре обхода: три обхода вполуперекрышку и один обход встык. Помимо перечисленных выше способов изолировки проводников и секций обмотки существует еще один способ, применяемый в машинах постоянного тока для концов обмотки, входящих в петушки коллекторных пластин. По этому способу лента прокладывается зигзагообразно (фиг. 21) по мере укладки концов обмотки в петушки коллектора. Этот способ имеет перед обмоткой самостоятельной лентой каждого проводника то преимущество, что количество концов ленты, которые нужно закреплять, значительно сокращается. Кроме того, значительно сокращается количество времени и материала без ухудшения качества изоляции. Для изолировки проводников и секций в зависимости от условий работы электрической машины применяются нижеследующие различные ленты,

1. Полотняная лента ткется на текстильных фабриках из хлопчатобумажной пряжи. Она имеет толщину 0,2 мм и ширину от 10 до 30 мм и получается в роликах. Полотняная лента, специально плетеная из отбельной хлопчатобумажной пряжи, называется тафтяной лентой.



Фиг. 20. Изолировка лентой вполуперекрышку.



Фиг. 21. Изолировка концов обмотки у петушков коллектора. Фиг. 21. Диагональная резка

2. Киперная лента также ткется на текстильных фабриках, но отличается от полотняной формой плетения (в елочку). Киперная лента изготовляется толщиной 0,4 мм и шириной от

20 до 40 мм.

3. Лента из фенольденовой бумаги делается из тонкой бумаги толщиной 0,08 мм, пропитанной бакелитовым лаком.

4. Лента из лакоткани представляет собой тонкую хлопчатобумажную или шелковую ткань, пропитанную несколько раз лаком, отчего она делается скользкой. Такая лента нарезается из кусков полотна лакоткани на электромашиностроительном заводе и поэтому не имеет тканых кромок, как полотняная или киперная. Разрезка куска полотна на ленты должна производиться не вдоль кромки куска, а по диагонали (фиг. 22). Хотя при этом и получаются некоторые отходы ленты за счет коротеньких кусочков при резке углов полотна, но зато лента диагональной резки значительно лучше облегает проводник—без морщин и складок. При работе с лентой из лакоткани надо с ней обращаться осторожно, потому что царапины и резкие перегибы нарушают слой лаковой пленки и значительно снижают ее электрическую прочность.

5. Бумажно-слюдяная лента состоит из чешуек слюды, наклеенных на тонкую бумагу или проклеенных между двумя слоями бумаги. Этот материал в зависимости от толщины бумаги и числа слоев слюды изготовляется в виде листов толщиной от 0,075 мм до 0,13 мм, которые разрезаются на ленты.

6. Шелко-слюдяная лента состоит из чешуек слюды, наклеенных на шелковую ткань или проклеенных между слоями шелковой ткани и бумаги. Эта лента имеет толщину от 0,13 до 0,2 мм и применяется для изолировки головок и мест перегиба секций, где бумажно-слюдяная лента оказывается недостаточно прочной и гибкой.

7. Асбестовая лента ткется на текстильных фабриках из асбестовой пряжи. Эта лента имеет толщину 0,4 мм и ширину от 25 до 50 мм.

8. Стеклянная лента ткется из стеклянного волокна толщиной от 0,07 до 0,12 мм.

Из перечисленных сортов лент первые четыре относятся к нетеплостойким материалам и составляют изоляцию класса А; последние четыре сорта лент относятся к теплостойким материалам и составляют изоляцию класса В и С. Изоляция класса А применяется обычно в обмотках, изготовляемых из изолированных проводников с хлопчатобумажной или шелковой оплеткой, так как у них сама изоляция проводников является не теплостойкой. Если же обмотка выполняется из голых проводников, то междувитковая изоляция состоит из бумажно-слюдяной ленты, а общая изоляция секции составляется из различных комбинаций теплостойких лент и относится к классу В. Применение теплостойких изоляционных материалов позволяет допускать большие температуры нагрева машин, а это значит, что от той же машины можно получать большую мощность.

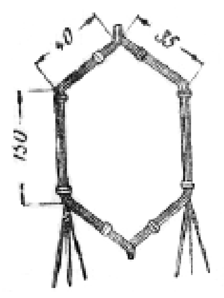
12. ПРОПИТКА ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Теплостойкость, электрическую прочность и стойкость против влаги полотняной и киперной ленты можно увеличить путем пропитки их в изоляционных лаках. Поэтому все обмотки современных электрических машин подвергаются пропитке с предварительной и последующей сушкой в печи при температуре 100—120° С. Лаковая пленка, заполняя все поры в изоляционных материалах, значительно улучшает их качество и удлиняет срок службы изоляции, а, следовательно, и самой машины. Пропитка обмоток обычно производится методом погружения в подогретый лак. В случае отсутствия соответствующей ванны пропитка может быть проведена путем обливания обмотки лаком или простого окрашивания обмотки кистью, смоченной в лаке. Однако эти способы дают значительно худшие результаты, чем погружение обмотки в лак. Сушка обмотки после пропитки должна продолжаться до тех пор, пока все легкие растворители лака не улетучатся, что определяется повышением сопротивления изоляции, которое обычно доводится путем сушки до 1—2 Мом. После улетучивания растворителей в порах обмотки остается густая лаковая пленка, которая и способствует улучшению изоляционных свойств изоляции. После окончания пропитки и сушки обмотка снаружи покрывается слоем серой электроэмали при помощи

кисти и снова подвергается сушке иногда даже без применения подогрева. Поверхностный слой эмали предохраняет обмотку от вредного действия пыли и влаги.

13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОЙ ДЛИНЫ ЛЕНТЫ

Перед выполнением изолировки секции часто требуется определить потребное количество ленты. Предположим, что секцию надо изолировать вполуперекрышку изоляционной полотняной лентой, имеющей ширину 20 мм. Для определения потребного количества ленты поступают следующим образом. Сначала надо измерить периметр (сумму всех сторон) поперечного сечения секции. Это можно сделать путем сложения размеров, указанных в чертеже, или обвернуть секцию один раз ниткой, а затем распрямить нитку и измерить ее длину линейкой. Для секции, изображенной на фиг. 23, периметр поперечного сечения при толщине 6 мм и высоте 19 мм равен 2×6 + 2×19 = 50 мм. Затем надо взять по чертежу или измерить ниткой длину внешнего контура секции. По данным на рисунке размерам длина контура получается равной 2 × 150 + 2 × 40 + 2 × 31 = 480 мм. При изолировке вполуперекрышку лентой, имеющей ширину 20 мм. при каждом обороте ленты вокруг секции изоляция будет передвигаться вдоль контура секции на половину ширины ленты, т. е. на 10 мм. Следовательно, всего потребуется 45 оборотов. Развернутая длина каждого оборота равна периметру поперечного сечения, т. е. 50 мм. Таким образом, полная развернутая длина ленты будет равна длине одного оборота, умноженной на число оборотов, т. е. 50 × 45 = 2 250 мм, или 2,25 м.



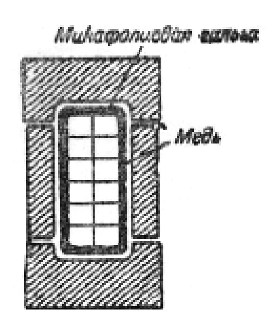
Фиг. 23. Изолировка секции лентой.

14. ИЗОЛИРОВКА ЛЕНТОЙ ПЕРЕГИБОВ СЕКЦИИ

На прямолинейных частях секции лента ложится ровно при изолировке как встык, так и вполуперекрышку. Когда же приходится изолировать секцию в местах перегибов и закруглений, то появляются трудности, вытекающие из того, что длина контура на внешней окружности закругления больше, чем на внутренней. В этих местах приходится выдерживать принятый для данной секции способ изолировки по внешнему контуру перегиба, вследствие чего на внутреннем контуре обороты ленты ложатся более тесно, а следовательно, в этих местах число слоев ленты, наложенных один на другой, увеличивается, а вместе с тем увеличивается и толщина изоляции. В случае очень крутых перегибов лента на внутреннем контуре начинает собираться в складки, что ведет к чрезмерному утолщению секции и ухудшает качество изоляции, так как нарушается плотность прилегания ленты к проводникам. Поэтому для изолировки перегибов применяют более упругую и прочную ленту, чем для изолировки прямолинейных участков секции (шелкослюдяную вместо бумажно-слюдяной), а иногда приходится срезать часть ширины ленты, как на фиг. 24.



Фиг. 24. Срезка ленты на перегибах.



Фиг. 25. Опрессовка секций в обоймах.

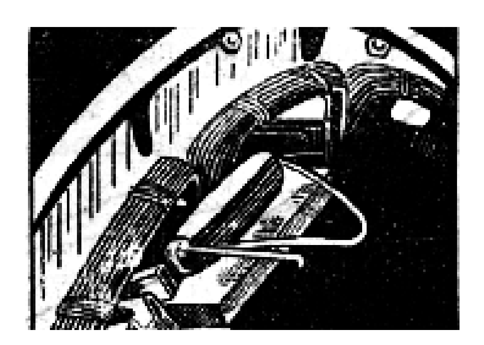
15. ОПРЕССОВКА ИЗОЛЯЦИИ СЕКЦИЙ

Если изолированные секции укладываются в пазы, имеющие прямоугольную форму, то размеры секции должны точно соответствовать заданным на чертеже размерам, определяемым по размеру паза. Ввиду того, что при изолировке секций лента сильнее натягивается на углах и получает некоторое ослабление натяжки вдоль сторон периметра поперечного сечения, для придания секциям правильной прямоугольной формы они после изолировки опрессовываются о специальных обоймах, изображенных на фиг. 25. После закладывания секции обойму подогревают. При этом лаки, содержащиеся в изоляционных лентах, размягчаются. Затем, не снимая давления пресса, обойму охлаждают при помощи воды, протекающей через заложенные в пресс-форме трубки или обдуванием пресс-формы сжатым воздухом из шланга. Лаки снова затвердевают и склеивают проводники секции. Поэтому после раскрывания пресс-формы секция сохраняет размеры обоймы в которую она была заложена при прессовке.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ
ТИПЫ ОБМОТОК МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Обмотки электрических машин переменного тока в основном можно разделить на следующие типы:

1) катушечные обмотки, которые в свою очередь могут выполняться ручным способом впротяжку или из заранее заготовленных секций открытой формы;
2) секционные обмотки, однослойные и двухслойные;
3) стержневые обмотки.



Фиг. 26. Лобовые части катушечной обмотки, расположенные в двух плоскостях.

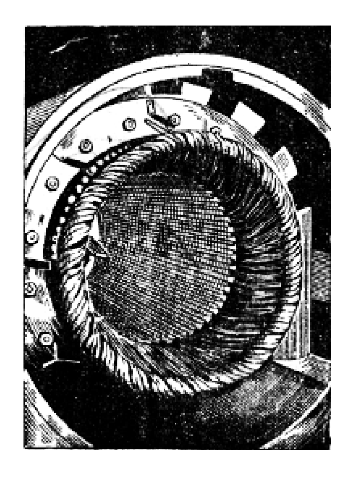
16. КАТУШЕЧНАЯ ОБМОТКА

Характерной особенностью катушечных обмоток является концентрическое расположение витков каждой катушки и расположение головок катушек в разных плоскостях. Наиболее распространенной является обмотка с головками, расположенными в двух плоскостях (фиг.

26). Такие обмотки применяются как для статоров, так и для роторов. По виду обмотанного статора или ротора легко определить число катушек, а также число пазов, занимаемых концентрическими витками каждой катушки. Как будет показано далее, эти данные позволяют определить характерные свойства машины. Катушечные обмотки машин малой и средней мощности выполняются вручную. В машинах большой мощности катушечные обмотки статоров при большом числе проводников выполняются из заранее заготовленных секций, концы которых загибаются и спаиваются между собой после вставления секций в пазы. Катушечные обмотки относятся к однослойным обмоткам, так как каждая катушка при намотке занимает весь паз. Катушечные обмотки являются очень трудоемкими особенно в машинах с закрытыми пазами, когда их приходится мотать впротяжку. Процесс обмотки значительно ускоряется в случае полуоткрытых пазов, когда проводники можно закладывать через шлицы пазов, но и в этом случае по трудоемкости они значительно превышают секционные обмотки. Преимуществом ручных катушечных обмоток перед секционными является то, что они не требуют специальных шаблонов и станков для намотки секций и легче поддаются ремонту. Поэтому катушечные обмотки чаще встречаются в несерийных и ремонтируемых машинах.

17. СЕКЦИОННАЯ ОБМОТКА

Секционные обмотки отличаются от катушечных тем, что в пазы закладываются секции, заранее намотанные на специальных шаблонах. Лобовые части секционных обмоток перевиваются между собой совершенно симметрично, поэтому по внешнему виду статора или ротора нельзя различить число катушек (фиг. 27). Секционные обмотки бывают однослойные, когда каждая сторона секции занимает весь паз, а число секций в два раза меньше, чем число пазов, и обмоткой. И двухслойные, когда каждая сторона секции занимает только половину паза и число секций равно числу пазов. Очевидно, что секционные обмотки могут применяться только для машин с открытыми или полуоткрытыми пазами, так как в закрытые пазы нельзя вставить намотанные секции. При полуоткрытых пазах секции могут закладываться в изолированные пазы по одному проводнику (насыпные обмотки), а при открытых пазах секции могут быть заранее изолированы лентой по всей длине и в таком виде заложены в пазы. Такие секции носят название секций с непрерывной изоляцией. Двухслойные секционные обмотки получили название «американские обмотки».

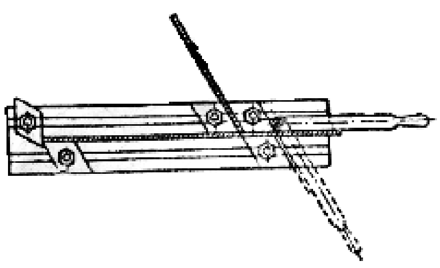


Фиг. 27. Статор с американской обмоткой.

18. СТЕРЖНЕВАЯ ОБМОТКА РОТОРА

Стержневые обмотки встречаются в роторах машин средней и большой мощности и чаще всего выполняются двухслойными. Для пазов закрытого типа стержни изготовляются из

обмоточной меди с поперечным сечением специальной формы, известным под названием полуовального сечения.



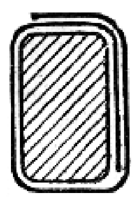
Фиг. 28. Приспособление для гибки стержневых обмоток ротора.

Один конец стержня заранее выгибается по форме лобовых частей обмотки, а другой остается прямолинейным и выгибается на роторе после того, как стержни будут вставлены в пазы. Загибка стержней производится на специальном приспособлении, изображенном на фиг. 28. Полоса меди требуемой длины закладывается в продольную щель приспособления и изгибается под нужным углом при помощи рычага. Затем изогнутый стержень перекладывается во вторую щель приспособления и при помощи того же рычага производится второй перегиб стержня. Благодаря переставным упорам приспособление удается сделать универсальным и применять его для нескольких типов машин. После загибки производится зачистка стержней в местах перегибов от вмятин и заусенцев при помощи личной пилы и наждачной бумаги. Затем концы стержней протравливают в кислоте, промывают в горячей воде и облуживают свинцово-оловянным припоем, марка которого указывается в чертеже. После облуживания концов стержни поступают в изолировку. Для высоковольтных машин изолировка стержней по всей длине производится миканитовой лентой в несколько слоев (непрерывная изоляция). Для низковольтных машин пазовые части изолируются несколькими оборотами миканитового полотна, нарезанного на куски требуемых размеров. Длина куска определяется длиной прямолинейной части стержня, а ширина — периметром поперечного сечения, умноженным на число слоев изоляции. Лобовая изогнутая часть стержня изолируется лентой, причем лента должна перекрывать изоляцию пазовой части на 10—15 мм, чтобы в месте стыка двух изоляций не получилось оголенных мест на стержне.

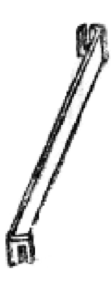
Фиг. 29. Изолировка с перекрытием на $2\ ^{1}/_{4}$

Изолировка пазовых частей стержня кусками изоляционного материала вместо ленты имеет два преимущества. Во-первых, ускоряется процесс изолировки, а во-вторых, уменьшается толщина изоляции, так как для создания одного непрерывного слоя изоляции при изолировке лентой требуется двойная толщина ленты по всему периметру (см. § 11), а при изолировке куском изоляционного материала достаточно создать перекрытие между началом и концом только на одной стороне сечения стержня. При увеличении числа слоев разница в толщине изоляции становится все большей. Различают два вида перекрытия изоляции при изолировке куском материала: перекрытие на $2\ ^{1}/_{4}$ (фиг. 29) и перекрытие на $^{1}/_{2}$ (фиг. 30). После обертывания стержня широкой полосой изоляционного материала производится опрессовка с подогревом между двумя плитами, которыми стержень обжимается каждый раз после поворота на 180°. Это способствует плотному прилеганию и приклеиванию изоляции к

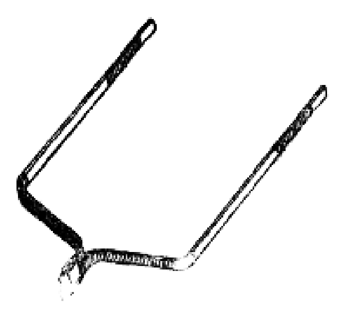
стержню и исключает возможность образования воздушных промежутков между слоями изоляции. Для предохранения изоляции от повреждения при проутюживании изолированный стержень обвертывается вразбежку полотняной лентой, которая затем снимается. Перед вставлением стержней пазы ротора изолируются при помощи гильзы из прессшпана, которая предварительно навертывается на деревянную оправку, по размерам несколько меньшую, чем паз, с перекрытием начала и конца прессшпановой полосы. Гильзы вставляются в пазы' ротора с торца и вследствие упругости материала прилегают к стенкам паза. Затем стержни обмотки натирают парафином, изолируют обмоткодержатели согласно чертежу и вставляют стержни в пазы с торца ротора. Сначала вставляют стержни внутреннего слоя, и прямолинейные концы их отгибают в одну сторону.



Фиг. 30. Изолировка с перекрытием на $^1/_2$



Фиг. 31. Ключ для отгибания стержней.



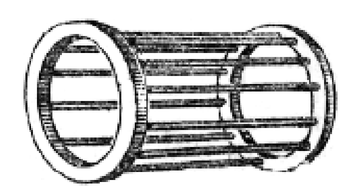
Фиг. 32. Стержни роторной обмотки.

Для загибки стержней служит специальный ключ, изображенный на фиг. 31. После того, как все стержни внутреннего слоя обмотки заложены и отогнуты, приступают к закладке стержней наружного слоя, отгибая концы их в противоположную сторону. После этого в лобовых частях закладывают прокладки из прессшпана между стержнями внутреннего и внешнего слоя для того, чтобы под действием давления бандажа не произошло замыкания между слоями обмотки. Затем приступают к соединению концов стержней внутреннего и наружного слоя согласно схеме (см. § 42) при помощи скобочек, согнутых из жести (фиг. 32). В промежутки между стержнями внутреннего и внешнего слоя, соединенными скобочкой, забиваются медные клинышки. Лобовые части стягиваются бандажами из отожженной проволоки, между соседними скобочками забиваются деревянные клинья, и ротор поступает на токарный станок для проточки торцов обмотки. После проточки деревянные клинья выбиваются, и производится пропайка соединения стержней, для чего ротор погружается в

ванну кольцевой формы с расплавленным припоем на глубину, равную ширине скобочки, поочередно одним и другим концом. В центре ванны имеется отверстие для вала. Если после пайки в ванне на торцах обмотки обнаруживаются не пропаянные места, то их паяют дополнительно при помощи паяльника. Пайка концов обмотки в ванне значительно ускоряет технологический процесс и дает большую экономию припоя, который при ручной пайке имеет большие потери за счет разбрызгивания. После запайки концов временные бандажи заменяются постоянными бандажами из стальной луженой проволоки (см. гл. 11), и ротор поступает в пропитку (см. гл. 12).

19. КОРОТКОЗАМКНУТАЯ ОБМОТКА РОТОРА

Наиболее простым типом обмотки является короткозамкнутая клетка, применяемая в роторах трехфазных электродвигателей малой мощности (фиг. 33). Клетка состоит из медных стержней, которые забиваются в пазы ротора без изоляции. Выступающие из пазов концы стержней припаиваются к двум медным кольцам. При выполнении короткозамкнутой обмотки особое внимание должно быть обращено на точную разметку отверстий в кольце, для того, чтобы все концы стержней попали в отверстия, и на тщательную пайку для получения хорошего контакта между стержнями и кольцами. Плохой контакт влечет за собой чрезмерное нагревание и выгорание концов стержней, что выводит ротор из строя. Часто в короткозамкнутых роторах электродвигателей трехфазного тока применяется двойная клетка, состоящая из двух рядов стержней, расположенных один над другим. В этом случае стержни тонкого сечения располагаются в наружном ряду, а стержни толстого сечения—во внутреннем ряду и соединяются или двумя самостоятельными кольцами или общим кольцом. В современных электродвигателях массового производства клетка выполняется из алюминия, причем стержни и кольца заливаются в ротор расплавленным алюминием (фиг. 33)



Фиг. 33. Короткозамкнутая обмотка ротора.

Такой способ выполнения короткозамкнутой клетки дает огромные преимущества по сравнению с описанными выше, в отношении скорости выполнения, экономии меди и улучшения свойств электродвигателей. Однако заливка роторов алюминием не входит в область обмоточных работ и выполняется в литейных цехах, а поэтому здесь не рассматривается

ГЛАВА ПЯТАЯ ВЫПОЛНЕНИЕ КАТУШЕЧНЫХ ОБМОТОК

20. ПОДГОТОВКА К ОБМОТКЕ

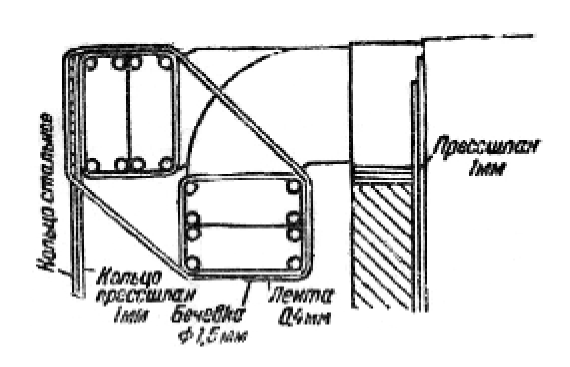
Катушечные обмотки, несмотря на ряд недостатков, о которых было сказано выше, имеют применение не только в ремонтных работах, но и в машинах, выпускаемых заводами электропромышленности. Катушечные обмотки применяются как на роторах, так и на статорах с закрытыми и полуоткрытыми пазами. В качестве наиболее характерного примера ниже приводится выполнение катушечной обмотки ротора с закрытыми пазами. Особенностью роторных обмоток по сравнению со статорными является необходимость укрепления лобовых частей катушек против изгиба под действием центробежных сил, а намотка катушек в закрытые пазы обусловливает применение стальных спиц, которые не требуются при пазах полуоткрытой формы. Намотка катушечной обмотки производится

изолированным проводом. Ввиду того, что в процессе обмотки провод подвергается многочисленным перегибам и механическим воздействиям при протаскивании его через пазы, можно применять провод только с двойной обмоткой марки ПБД, а в малых машинах ПШД. Подготовка ротора к обмотке заключается в следующем:

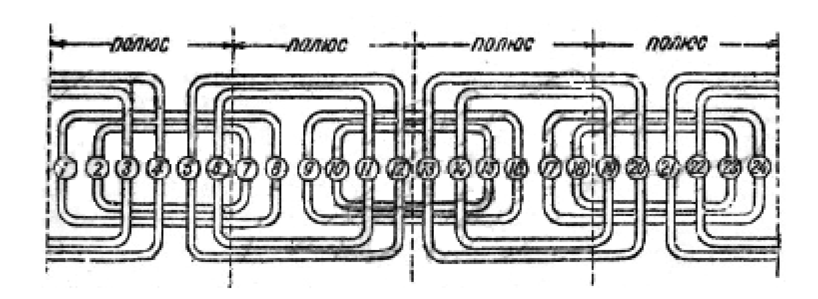
1) нарезать из прессшпана полоски для гильз;
2) согнуть гильзы на деревянной оправке;
3) осмотреть сердечник ротора, подправить молотком отогнутые зубцы, опилить заусенцы в пазах и продуть ротор сжатым воздухом;
4) изолировать нажимные шайбы ротора полосками прессшпана, имеющими ширину на 2—3 мм больше нажимной шайбы, до уровня основания пазов и затянуть киперной лентой (фиг. 34);
5) вложить гильзы в пазы.

21. РАЗМЕТКА РОТОРА ИЛИ СТАТОРА ПОД ОБМОТКУ

Всякая катушечная обмотка состоит из катушек с короткими и длинными лобовыми частями, причем каждая катушка укладывается концентрическими витками в несколько пазов. Условия выполнения обмотки требуют, чтобы концентрические витки катушек укладывались, начиная с внутренних. Расположение и укрепление лобовых частей катушек ротора изображено на фиг. 34. Операцию разметки ротора под обмотку можно пояснить на следующем примере. Для обмотки дан ротор, имеющий 24 паза и 6 катушек (фиг. 35). Следовательно, каждая катушка занимает 4 паза, а сторона катушки 2 паза. Внутри каждой короткой катушки должны быть оставлены пустые пазы для двух сторон других длинных катушек. Таким образом, каждая катушка охватывает 8 пазов, из которых 4 остаются свободными, а 4 занимаются двумя сторонами данной катушки. Соседние катушки ложатся рядом с первой без пропуска пазов, а внутри каждой из них должно быть оставлено по 4 свободных паза.



Фиг. 34. Расположение лобовых частей катушечной обмотки ротора



Фиг. 35. Схема катушечной обмотки ротора.

Расстояние между сторонами катушки, подсчитанное числом пазов, называется «шагом обмотки». Очевидно, что у катушечной обмотки шаг для внутренних и для наружных витков,

лежащих в разных пазах, будет различен. В рабочих чертежах шаг обмотки обычно обозначается двумя цифрами, указывающими номера пазов, в которые должны быть уложены стороны катушки. Например, в данном случае шаг наружных витков катушки должен быть обозначен 1—8 (читается: «один — восемь» или «из первого в восьмой паз»), а для внутренних витков шаг будет 2—7. Свободными остаются 3-й, 4-й, 5-й и 6-й пазы. Последовательность намотки коротких катушек будет такая: 2—7; 1—8; 10—15; 9—16; 18—23; 17—24. К разметке ротора надо относиться очень внимательно, так как очевидно, что если допустить ошибку хотя бы в одном шаге, то для последней катушки не хватит паза, а в другой останется лишний паз. Это будет обнаружено только в конце обмотки, и вся работа пойдет впустую, а затраченный материал — в брак. После того, как намотаны катушки с короткими лобовыми частями, длинные катушки укладываются между ними симметрично.

22. ВЫПОЛНЕНИЕ РУЧНОЙ КАТУШЕЧНОЙ ОБМОТКИ

Процесс намотки ручной катушечной обмотки ротора после его подготовки и разметки выполняется в следующем порядке:

1) вставить в пазы 2 и 7 гильзы и стальные спицы, имеющие диаметр, на 0,1 мм больший, чем диаметр изолированного провода. Концы спиц должны выступать из паза на 50—60 мм и не должны иметь острых заусенцев.

2) вставить в пазы 3 и 6 с обеих сторон ротора деревянные оправки, которые служат шаблонами для образования формы лобовых частей обмотки;

3) измерить длину одного витка, заложив обмоточный провод в пазы и обогнув его по шаблонам.

4) определить развернутую длину катушки, лежащей в пазах 2 и 7, путем умножения длины одного витка на число проводников в пазу, указанное в чертеже.

5) отмотать от бухты провод, длиной равный развернутой длине катушки с некоторым запасом, но не отрезать отмеренный конец от бухты.

6) один обмотчик вытягивает из паза 2 верхнюю или нижнюю синцу, а другой проталкивает на ее место конец обмоточного провода, предварительно натертого парафином, до тех пор, пока конец провода не выйдет с противоположной стороны паза.

7) первый обмотчик тянет на себя отмеренный конец провода, а второй направляет его в паз, не допуская резких перегибов и образования барашков;

8) когда весь отмотанный от бухты конец провода протянут через паз, второй обмотчик вытягивает из паза / спицу, а первый просовывает вслед за спицей конец провода и после того, как весь провод будет протянут, укладывает на шаблонах первый виток лобовой части катушки. Таким же образом укладываются следующие витка катушки до тех пор, пока оба паза не будут заполнены. Спицы из пазов вынимаются в строгой последовательности, т. е. сначала наматывается один вертикальный ряд в пазу. Таким образом, выводы от начала и конца катушки выходят со дна паза, и оба паза 2 и 7 заполнены проводниками. После этого наматывается вторая половина катушки. Лежащая в пазах 1 и 8 намотка производится в такой последовательности:

9) вставить освободившиеся из пазов 2 и 7 спицы в пазы 1 и 8.

10) измерить развернутую длину витка катушки, лежащей в пазах 1 и 8, путем закладывания в эти пазы провода; лобовая часть провода при этом укладывается по лобовым частям намотанной половины катушки.

11) определить развернутую длину катушки путем умножения длины витка на число проводов в пазу.

12) отмотать от бухты провод, равный длине развернутой катушки с некоторым запасом, производя начало измерения от места выхода проводника из паза 7, и отрезать конец проводника от бухты.

13) намотать половину катушки, лежащую в пазах / и 8, теми же методами, как и первую половину в пазах 2 и 7; после окончания намотки останется два выводных конца из второго

паза и из восьмого паза, которые затем будут соединены с выводными концами других катушек согласно схеме. Соединение между половинами катушки осуществляется тем же проводом без разрыва. Если длина бухты меньше развернутой длины катушки, то приходится делать спайку провода одной бухты с проводом другой бухты. Спайка производится после того, как первый провод весь уложен в пазы. Место спайки располагается на лобовой части катушки. Перед спайкой концы проводов должны быть зачищены шкуркой и соединены между собой скобочкой или скручены. Пайка производится оловянным припоем с канифолью в качестве флюса. Затем место пайки зачищается от острых наплывов припоя при помощи пилы и изолируется тремя слоями полотняной ленты, конец которой приклеивается шеллачным или бакелитовым лаком. В процессе намотки надо оберегать провод от повреждения и загрязнения его изоляции. Иногда на проводе обнаруживается оголенное место. Если в процессе намотки это место приходится на лобовой части, то достаточно его изолировать полотняной лентой. В том случае, когда оголенное место попадает в паз и вследствие тесной укладки утолщение проводника дополнительной изоляцией недопустимо, приходится участок проводника с оголенной изоляцией вырезать, сделав спайку на лобовой части катушки. Как было сказано выше, лобовые части катушек ротора необходимо защитить от изгиба под действием центробежной силы при вращении ротора. Для этой цели их перевязывают между собой бечевкой или привязывают к стальному кольцу, изображенному на фиг. 34.

23. ЗАВИСИМОСТЬ ЧИСЛА КАТУШЕК ОТ ЧИСЛА ПОЛЮСОВ

У трехфазных электродвигателей (асинхронных) обмотки распределяются симметрично, и на статоре нет явно выраженных полюсов, как в машинах постоянного тока. Однако при катушечной обмотке число полюсов легко определить по внешнему виду обмотки. Это получается потому, что в трехфазной обмотке катушки трех фаз образуют два полюса: северный и южный. Исходя из этого, можно установить зависимость между числом катушек и числом полюсов. Очевидно, что на каждые три катушки приходится два полюса, т. е. число полюсов составляет $^2/_3$ от числа катушек. Число же катушек на всяком роторе или статоре с катушечной обмоткой легко сосчитать по внешнему виду лобовых частей. Таким образом, если в рассмотренном примере обмотка ротора имеет 6 катушек, то число полюсов будет:
$6 \times 2 / 3 = 4$ полюса, или 2 пары полюсов. Лобовые части катушек располагаются симметрично только в том случае, когда число пар полюсов четное. Если же число пар полюсов выражается нечетным числом, как, например, в двухполюсной машине (1 пара), то число катушек будет тоже нечетное (3 катушки). В этом случае 2 катушки наматываются нормально: одна с длинными лобовыми частями, другая — с короткими, а лобовые части третьей катушки должны пересекаться с лобовыми частями других катушек и потому получаются неправильной формы. Такие катушки известны под названием косых катушек. Для избегания косых катушек при нечетном числе пар полюсов, прибегают к расположению лобовых частей катушек в три слоя.

24. СОЕДИНЕНИЕ КОНЦОВ СЕКЦИОННОЙ КАТУШЕЧНОЙ ОБМОТКИ

В катушечной обмотке, выполняемой вручную, все соединения между витками катушки выполняются непрерывным проводом, и поэтому пайка применяется только для соединения между собой выводных концов катушек согласно схеме обмотки. Если же катушечная обмотка выполняется из заранее заготовленных секций открытого типа, то после вставления их в пазы следует произвести подгибание, соединение и пайку всех витков катушки. Для соединения концов катушки заготовляются специальные скобочки по форме поперечного сечения обмоточной меди из луженой медной или латунной ленты. Два конца катушки вставляются в скобочку с двух сторон и запаиваются свинцово-оловянным припоем. После запайки скобочки зачищаются от острых заусенцев и наплывов припоя, изолируются лентой

из лакоткани и подгибаются вплотную к лобовой части катушки. После спайки концов все витки катушки получаются соединенными в одну общую последовательную цепь. Порядок соединения концов катушки в высоковольтных машинах выбирается таким, чтобы между двумя соседними витками не получилось полное напряжение, приходящееся на одну катушку. При соединении, изображенном на фиг. 36, выводные концы катушки 1 и 14, между которыми действует полное напряжение катушки, удалены друг от друга на значительное расстояние. Наоборот, на фиг. 37 изображен неправильный способ соединения концов катушки, так концы 1 и 14, находящиеся под полным напряжением катушки, лежат в непосредственной близости один от другого и между ними легко может произойти замыкание вследствие пробивания изоляции.

14	13
12	11
10	9
8	7
6	5
4	3
2	1

Фиг. 36. Правильный порядок соединения.

8	7
9	6
10	5
11	4
12	3
13	2
14	1

Фиг. 37. Неправильный порядок соединения.

В катушечных обмотках как ручных, так и секционных лобовые части обычно изолируются лентой. Число слоев ленты и расстояние между лобовыми частями катушек указывается в чертежах и выбирается в зависимости от напряжения машины.

ГЛАВА ШЕСТАЯ ВЫПОЛНЕНИЕ АМЕРИКАНСКИХ ОБМОТОК

25. ОТЛИЧИЕ АМЕРИКАНСКИХ ОБМОТОК ОТ КАТУШЕЧНЫХ

У катушечных обмоток шаг обмотки в каждой катушке делается различным для внутренних и наружных витков одной и той же катушки, так как витки, лежащие в наружных пазах, концентрически охватывают витки, лежащие во внутренних пазах. Поэтому для катушечных обмоток, выполняемых из открытых секций, должны быть заготовлены секции с разными шагами. Число разновидностей секций по шагу обмотки определяется числом пазов, занимаемых одной стороной катушки. Кроме того, для данного шага должны быть заготовлены катушки с длинными и короткими лобовыми частями в зависимости от числа слоев лобовых частей. Например, если половина катушки занимает 4 паза, а лобовые части расположены в три слоя, то для выполнения обмотки надо заготовить 12 разновидностей секций, отличающихся одна от другой по шагу и форме лобовых частей. Если учесть, что для каждой разновидности требуется изготовить специальный шаблон, а все концы открытой стороны катушек надо спаять и изолировать, то становится понятной та большая трудоемкость и сложность, которая характеризует производство катушечных обмоток секционного типа. В противоположность им американская обмотка характеризуется тем, что

она выполняется из однотипных секций, которые имеют один и тот же шаг, а соединение между витками производится непрерывным проводом в процессе намотки секций на шаблоне механическим способом на специальных намоточных станках. Как будет сказано ниже, количество соединений между секциями может быть еще более уменьшено за счет намотки непрерывным проводом двойных и тройных секций, которые закладываются сразу в два или три паза в зависимости от схемы обмотки. Другой отличительной особенностью американских обмоток является то, что они — двухслойные, т. е. в каждом пазу лежат две стороны разных секций: одна — на дне паза, а другая — над ней. Процесс обмотки состоит в том, что сначала заполняются нижние половины паза, а затем верхние. В машинах переменного тока американские обмотки чаще всего применяются для статоров с полуоткрытыми пазами, причем намотанные секции закладываются в пазы через шлиц по одному проводнику (насыпные обмотки).

26. ПОДГОТОВКА СТАТОРА К ОБМОТКЕ

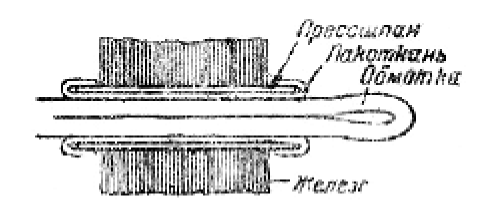
Прежде, чем приступить к обмотке, статор тщательно продувают сжатым воздухом, очищая его от металлической пыли, которая может привести к пробиванию изоляции. Затем нарезают пазовую изоляцию, которая предохраняет обмотку от замыкания на корпус.

Для машин, имеющих напряжение до 500 в, пазовая изоляция состоит из двух слоев прессшпана толщиной 0.2—0,3 мм с проложенным между ними слоем лакоткани. На рычажных ножницах нарезают полосы лакоткани и наружный слой прессшпана шириной, равной периметру паза, а внутренний слой прессшпана на 20 мм шире. В процессе намотки внутренний слой прессшпана выступает из паза (фиг. 38), предохраняет проводники секции от повреждения изоляции об острые края паза и не позволяет проводникам засыпаться между изоляцией и стенками паза.



Фиг. 83. Изоляция паза статора

Длина всех слоев пазовой изоляции должна быть выбрана так, чтобы изоляция выступала из паза статора на 10—20 мм с каждой стороны. Назначение наружного слоя прессшпана заключается в том, чтобы защитить слой лакоткани от прокалывания его шероховатостями на стенках паза, а внутренний слой прессшпана служит для того, чтобы закладываемые в паз проводники не смяли слой лакоткани. В малых машинах с небольшой длиной пакета статора внутренний слой прессшпана не ставят, а лакоткань нарезают на 5—6 мм длиннее, чем наружный слой прессшпана, и отгибают в виде воротника (фиг. 39), что предохраняет лакоткань от смятия проводниками секции



Фиг. 39. Пазовая гильза с отворотом,

Уменьшение толщины изоляции с сохранением требуемой электрической прочности улучшает свойства машины, так как позволяет в те же пазы вложить больше обмоточной меди. Нажимные шайбы статора изолируются несколькими полосками прессшпана, толщина которых подбирается так, чтобы они доходили до дна паза и служили опорой для выступающих из паза концов пазовой изоляции, предохраняя ее от разрыва при отгибании лобовых частей обмотки.

27. ШАГ ОБМОТКИ

В американской обмотке шагом называется расстояние между нижней и верхней сторонами секции, выраженное номерами пазов, в которых лежат стороны секции. Шаг обмотки обычно указывается в чертежах или обмоточных записках. Он может быть нормальным (диаметральным) или укороченным на один или два паза. Укорочение шага обмотки в современных машинах встречается довольно часто и имеет целью улучшить электрические свойства машины. Кроме того, укорочение шага дает экономию меди за счет того, что лобовые части секций при этом также укорачиваются и осевая длина машины уменьшается.
В американской обмотке число полюсов определяется шагом обмотки. Чтобы узнать нормальный шаг обмотки, надо число пазов разделить на число полюсов.
Приме I. Статор имеет 48 пазов, а обмотка должна быть намотана на 8 полюсов.
Если 48 разделить на 8, то получим 6. Это означает, что если нижнюю сторону секции мы заложим в 1-й паз, то к пазу № 1 надо прибавить число 6, выражающее шаг обмотки, чтобы получить номер паза, в который должна быть заложена верхняя сторона секции.
Итак, нормальный шаг обмотки будет 1—7 (из первого паза в седьмой). При укорочении шага на 1 паз секции должны вкладываться из первого паза в шестой (шаг 1—6).
Пример 2. Статор имеет 90 пазов, а шаг обмотки 1—9. Требуется определить число полюсов машины. Если обмотка укладывается из первого паза в девятый, следовательно, число, характеризующее шаг обмотки, будет 8, т. е. к пазу № 1 надо прибавить 8, чтобы получить номер паза, в который должна быть вложена верхняя сторона секции. Чтобы определить число полюсов, надо число пазов разделить на число, характеризующее шаг обмотки. Но 90 не делится без остатка на 8, а число полюсов должно обязательно выражаться целым числом. Очевидно, в данном случае мы имеем укороченный шаг. Для определения нормального шага надо подобрать ближайшее большее число, на которое делится без остатка 90. Таким числом будет 9, а число полюсов определим, разделив 90 на 9, т. е. данная машина имеет 10 полюсов. Изменяя шаг обмотки, тот же самый статор можно намотать на другое число полюсов, изготовив секции с более короткими или более длинными лобовыми частями. Так, например, сделав обмотку с шагом 1—6 (шаг = 5), получим машину с 18 полюсами. У машин переменного тока от числа полюсов зависит число оборотов ротора. Эта зависимость определяется следующей формулой: *число оборотов в минуту = 6000 / число полюсов.* Таким образом, можно составить следующую таблицу:

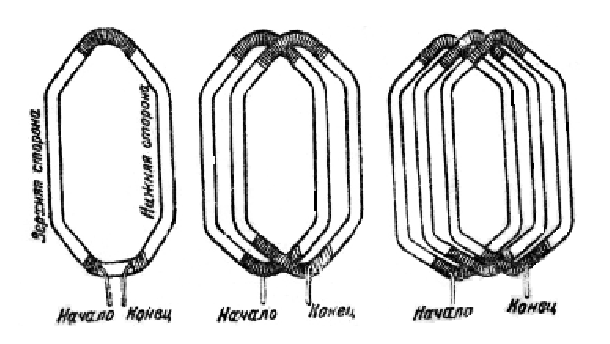
Число полюсов	Число оборотов ротора в минуту
Два	3000
Четыре	1500
Шесть	1000
Восемь	750
Десять	600
Двенадцать	500
Шестнадцать	375
Двадцать	300

Число 6000 в формуле, получается, от умножения числа секунд, содержащихся в 1 мин. (60) на двойное число периодов переменного тока (2 × 50). Для генераторов формула дает действительное число оборотов ротора, у асинхронных электродвигателей вследствие явления скольжения ротор вращается с несколько меньшим числом оборотов.

28. ЧИСЛО ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ

В обмотках машин трехфазного тока важной величиной, характеризующей обмотку, является число пазов, приходящихся на один полюс и на одну фазу. Эта величина определяется, если разделить число пазов на 3 (число фаз) и на число полюсов. Например, для обмотки, расположенной в 48 пазах и намотанной на 8 полюсов, число пазов на полюс и фазу будет: $48 / (3 \times 8) = 2$

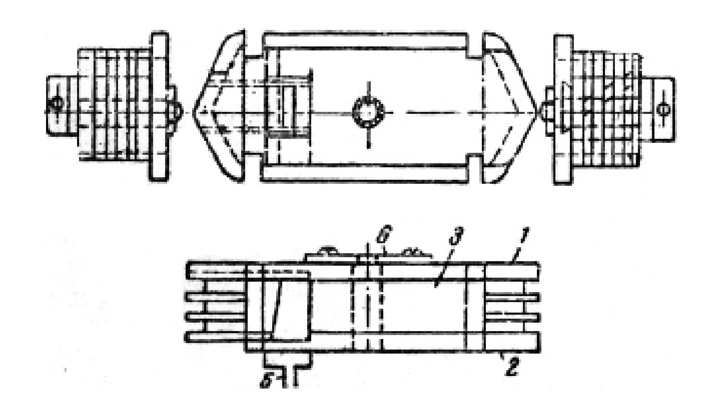
В катушечных обмотках число пазов на полюс и фазу можно легко определить по виду обмотки, так как это будет число пазов, занимаемых одной стороной катушки. Действительно, если бы данная обмотка была катушечной, то при 8 полюсах она имела бы 12 катушек. Следовательно, на каждую катушку приходилось бы 4 паза, а на одну сторону катушки — 2 паза. В американской обмотке число пазов на полюс и фазу нельзя определить по внешнему виду, но это число показывает, сколько секций по схеме соединяется между собой последовательно, так как они относятся к одной фазе. Общее число секций для американской обмотки равно числу пазов, так как каждая секция занимает две половины паза, что равносильно одному пазу. Однако чтобы уменьшить количество паек в соединениях между секциями, обычно их мотают непрерывным проводом группами по 2, 3 или 4 в зависимости от числа пазов на полюс и фазу (фиг. 40). Например, для указанного примера вместо 48 одиночных секций наматывают 24 двойных секции. Благодаря этому половина выводных концов заменяется переходными витками между двойными секциями, а следовательно, число паек уменьшается вдвое. Помимо сокращения рабочего времени на пайке это еще значительно упрощает обращение с обмоткой при соединении секций и уменьшает возможность ошибок при выполнении соединений по схеме. Очевидно, что при тройных секциях число концов уменьшается втрое, а при числе пазов на полюс и фазу, равном 4, — в четыре раза.



Фиг. 40. Секционные группы.

29. НАМОТКА СЕКЦИЙ

Для намотки секций служат специальные деревянные шаблоны. На фиг. 41 изображен шаблон для намотки тройных секций. Он состоит из двух боковин 1 и 2, сердечника 3, головки 4, клина 5 и металлической пластины 6. Сердечник и боковины скреплены между собой шурупами. Головка может перемещаться между боковинами по оси шаблона, так как она соединена с боковиной 1, направляющей в виде ласточкина хвоста. В торцевые части сердечника и головки для отделения одной секции от другой врезаны специальные пластины, в которых сделаны прорези для переходных витков, соединяющих секции между собой. При помощи пластины 6 шаблон устанавливается на шпиндель намоточного станка.



Фиг. 41. Шаблон для намотки секционных групп.

При намотке секций между сердечником 3 и головкой 4 вставляется клин 5. В таком положении периметр шаблона равен периметру секции. При вынутом клине головка сдвигается к сердечнику, периметр шаблона уменьшается, и намотанные секции легко снимаются с шаблона. Перед началом намотки конец проводника закрепляется за ушко клина 5 и вводится через прорезь пластины головки в зев шаблона. После намотки первой секции станок останавливают и через прорезь второй пластины переводят проводник во второй зев шаблона и мотают вторую секцию, а за ней третью. После намотки каждую секцию перевязывают лентой в двух местах с каждой стороны. Для просовывания ленты в шаблоне предусмотрены 4 паза. Затем клин вынимают, головка шаблона сдвигается, и готовые секции снимаются с шаблона. Число оборотов шаблона при намотке секции должно соответствовать числу витков секции, указанному в чертеже. Если секция имеет два параллельных проводника, то намотка производится сразу в два провода с двух бухт.

30. СУШКА И ПРОПИТКА СЕКЦИЙ

Секции американской обмотки машин малой и средней мощности, закладываемой в полуоткрытые пазы, изготовляются из обмоточной меди ПБД. Для придания хлопчатобумажной оплетке провода большей механической прочности и теплостойкости, а также для предохранения ее от действия влаги, секции после намотки подвергаются пропитке с предварительной и последующей сушкой. Перед пропиткой секции должны быть просушены в печи в течение 3 час. при температуре 100—105° С. Для пропитки секции применяется асфальтовый лак № 447 вязкостью 1,5—2° по Энглеру при 50° С. Густой лак разводится смесью из 60% бензина и 40% толуола. Перед пропиткой лак должен быть размешан мешалкой, достающей до дна бака. Затем в лак погружают полоску конденсаторной бумаги и осматривают пленку лака, которая должна быть черного цвета без крупинок. При наличии на пленке крупинок лак следует немедленно профильтровать. Просушенные секции, надетые на палки выводными концами вверх, погружаются еще в горячем состоянии в бак с лаком и выдерживаются в нем не менее 3 мин. После этого секции перевертывают выводными концами вниз и выдерживают на воздухе в течение 30 мин. Затем секции сушат в печи при температуре 100—105° С в течение 8 час. до получения полного отлипания лака. По окончании первой пропитки и сушки секции подвергаются второй пропитке, которая производится так же, как и первая, И снова сушатся в печи в течение 8 час. при температуре 100—105° С. Обмотка провода, пропитанная в лаке, приклеивается к медному проводнику, и поэтому при укладке секций в пазы провод не оголяется. Связка секций комплектами в процессе сушки и пропитки не допускается. Режим предварительной сушки, пропитки и сушки после пропитки должен отмечаться в пропиточной мастерской в специальном журнале.

31. ОБМОТКИ С ДРОБНЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ

Число пазов на полюс и фазу не всегда оказывается целым, а очень часто бывает дробным (целое число с дробью). Дробное число пазов на полюс и фазу может быть выбрано при расчете машины или получается непроизвольно, когда готовый статор перематывают на другое число полюсов. Обмотки с дробным числом, пазов на полюс и фазу могут быть выполнены как из одиночных секций, так и группами по 2, 3 секции в зависимости от схемы. Разница по сравнению с обмотками, имеющими целое число пазов на полюс и фазу, заключается в том, что при дробном числе обмотку приходится комбинировать из разных групп. При этом комбинировании стремятся к тому, чтобы числа пазов на каждую из трех фаз были равны между собой. Это основное правило должно быть всегда выполнено, так как иначе обмотка получится несимметричной. Такая обмотка комбинируется из двух групп секций, причем в одной группе число секций меньше расчетного числа пазов на полюс и фазу, а в другой — на одну больше. Например, если число пазов на полюс и фазу равно $2^1/_2$, то обмотка составляется из чередующихся групп, имеющих по 2 и по 3 секции. Если статор имеет 30 пазов, то каждая фаза должна занимать по 10 пазов, что видно из следующей таблицы размещения секций.

Полюса / Фазы	1	2	3	4	Итого
I	2	3	2	3	10
II	3	2	3	2	10
III	2	3	2	3	10

В этой таблице цифры 2 и 3 указывают число секций в группе, а порядок их укладки в пазы можно узнать, прочтя их в вертикальных столбиках сверху вниз.

Получится 2—3—2—3—2—3—2—3—2—3—2—3 всего 30 секций. Таким образом, для данной обмотки следует намотать 6 групп по 2 секции и 6 групп по 3 секции. Ниже приводятся таблицы чередования групповых секций для наиболее часто встречающихся в практике чисел пазов на полюс и фазу.

Число пазов на полюс и фазу	Порядок чередования групп
$1\ ^1/_2$	(1-2), (1-2), (1-2) и т.д.
$1\ ^1/_4$	(1-1-1-2), (1-1-1-2) и т. д.
$1\ ^3/_4$	(1-2-2-2), (1-2-2-2) и т. д.
$1\ ^1/_5$	(1-1-1-1-2), (1-1-1-1-2) и т. д
$1\ ^2/_5$	(2-1-2-1-1), (2-1-2-1-1) и т. д.
$1\ ^3/_5$	(1-2-1-2-2), (1-2-1-2-2) и т. д

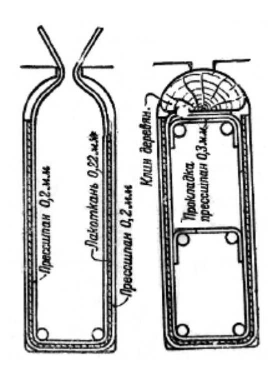
Если целое число перед дробью больше единицы, то в таблице чередования надо прибавить к каждой цифре разницу между этим числом и единицей, например:

Число пазов на полюс и фазу	Порядок чередования групп
$2\ ^1/_2$	(2-3), (2-3) и т. д
$3\ ^1/_4$	(3-3-3-4), (3-3-3-4) и т. д
$4\ ^1/_5$	(4-4-4-4-5), (4-4-4-4-5) и т. д

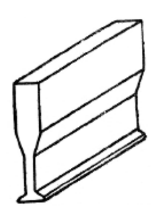
Аналогичные таблицы могут быть составлены для других обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу.

32. УКЛАДКА СЕКЦИЙ В ПАЗЫ

Секции американской обмотки укладываются в пазы группами так, как они были намотаны на шаблоне. Укладка производится следующим образом (фиг. 42): сначала в щель паза по одному проводнику вкладываются нижние стороны секций, а верхние стороны остаются не вложенными до тех пор, пока не будут уложены нижние стороны секций во все пазы, охватываемые шагом обмотки. После этого следующие секции вкладываются в пазы одновременно нижними и верхними сторонами. Между верхними и нижними сторонами секций в пазах помещаются прокладки из прессшпана толщиной 0,3 мм, имеющие изогнутую форму. Изгибание прокладок преследует двойную цель. Во-первых, изогнутые прокладки обладают большей жесткостью по сравнению с плоскими и при вдвигании их в пазы ротора не мнутся. Во-вторых, изогнутые прокладки более надежно отделяют друг от друга стороны секций, принадлежащие к разным фазам, между которыми действует полное напряжение машины. Такие же прокладки вкладываются между верхней стороной секции и деревянным клином, удерживающим обмотку в пазах. После заполнения паза секциями внутренний слой пазовой изоляции, выступающий из щели паза, следует срезать вровень с поверхностью зубцов, загнуть ее края в паз, осадить секции специальной оправкой (фиг. 43) и забить деревянный клин. Во время закладки секций лобовые части их изолируются хлопчатобумажной лентой толщиной 0,2 мм и затем плотно прижимаются друг к другу ударами молотка через фибровую прокладку.



Фиг. 42. Укладка секций в пазы.



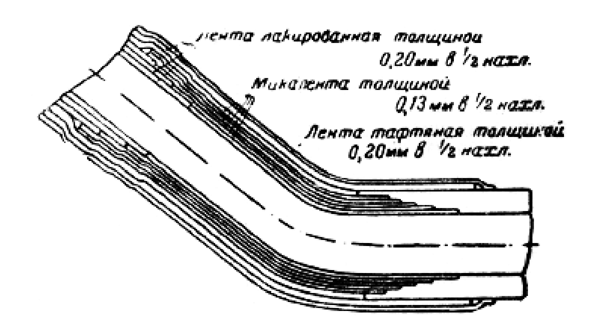
Фиг. 43. Оправка для забивания в паз секций американской обмотки.

Между группами секций, принадлежащих к разным фазам, в лобовых частях размещаются прокладки, состоящие из одного слоя лакоткани и одного слоя прессшпана толщиной 0,2 мм. По окончании укладки секций статор подвергается промежуточным испытаниям, затем производится соединение концов секций по схеме и статор поступает в пропитку.

33. ОБМОТКИ СТАТОРОВ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ МАШИН

Секции американских обмоток насыпного типа, как это видно из способа их укладки в полуоткрытые пазы, не могут быть предварительно изолированы, и поэтому изоляцией от корпуса служат только открытые прокладки U-образной формы, вкладываемые в пазы перед обмоткой. Участки секций между концом пазовой изоляции и изолированными лентой

лобовыми частями остаются совершенно без изоляции, кроме обмотки самого обмоточного провода. Как было сказано выше, такие обмотки применяются в машинах с рабочим напряжением не выше 500 В. Для машин высоковольтных, с рабочим напряжением в несколько тысяч вольт, американские обмотки статора выполняются из изолированных секций, у которых вся сторона секции сразу закладывается в открытый паз статора. Различают два способа изолировки секций, статора высоковольтных машин. По первому способу пазовые части секции обвертываются в несколько слоев бумагой с наклеенной на ней слюдой (микафолий), а лобовые части изолируются несколькими слоями ленты из лакоткани, а поверх нее — полотняной лентой. Такая изоляция получила название гильзовой изоляции, потому что пазовые части секции после их опрессовки получаются заключенными в гильзу из прессованного микафолия. Гильзовая изоляция может быть выполнена для машин с рабочим напряжением до 6000 В., и выше в зависимости от количества слоев микафолия, а следовательно, и соответствующей толщины гильзы. Так, при напряжении 3150 В толщина стенки гильзы делается 1,5 мм, а при напряжении 6300 в толщина гильзы доходит до 2,5 мм. Для изготовления гильзы от рулона микафолия отрезают кусок, длина которого равна длине пазовой части секции с припуском, а ширина равна сумме сторон поперечного сечения секции, умноженной на число слоев. Затем производят намотку микафолия на секцию. После намотки каждого слоя боковые стороны секции проутюживают горячим утюгом. При этом лак, которым склеен микафолий, расплавляется и склеивает его слои. Поверх всех слоев микафолия пазовые части секции обертывают телефонной бумагой толщиной 0,1 мм. Затем секцию закладывают в пресс-формы (фиг. 25), обогреваемые паром, в которых секция сжимается прессом со всех четырех сторон для придания ей требуемых размеров. В пресс-форме производится выпечка секции в течение 30 мин. и более в зависимости от размеров секции. По окончании выпечки секции дают остыть и затем вынимают ее из пресс-формы. Таким образом, все слои изоляции получаются склеенными, и поэтому секция сохраняет жесткую форму и размеры, необходимые для закладывания ее в паз. Слабым местом секций с гильзовой изоляцией являются стыки между гильзой и изоляцией лобовых частей. Хотя этот переход делается без оголенных мест за счет того, что слои изоляции перекрывают друг друга ступенями (фиг. 44), однако эти места секции являются наиболее уязвимыми при пробивании, и наибольшее число пробоев приходится именно на места перехода гильзы на изоляцию лобовых частей.



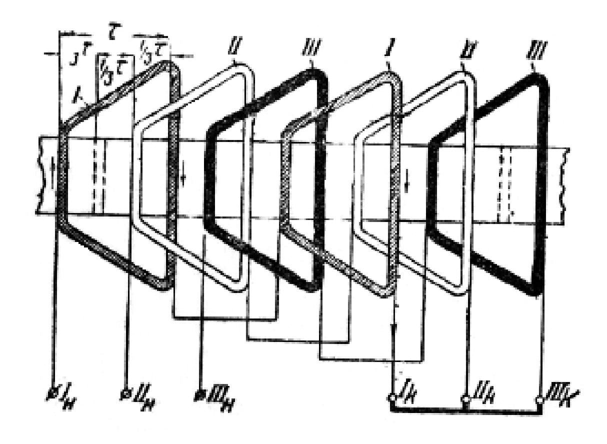
Фиг. 44. Изоляция перехода от пазовой к лобовой части.

Более совершенной следует признать так называемую непрерывную изоляцию секций, которая чаще всего применяется в настоящее время для секций статора высоковольтных машин с открытыми пазами. При непрерывной изоляции пазовая и лобовая изоляции выполняются одними и теми же материалами в виде ленты, которой секция обматывается по всему контуру в несколько слоев. При напряжении 3150 В пазовые части секции оплетаются пятью слоями миканитовой ленты толщиной 0,13 мм, а при напряжении 6300 В —десятью слоями миканитовой ленты. На лобовых частях секции, имеют на 1 слой меньше изоляции, чем пазовые части. Микалента накладывается вполуперекрышку по всей длине секции непрерывно. Накладывать микаленту надо очень тщательно, так как при сильном натяжении

она рвется, а при недостаточном натяжении на ней образуются складки и размеры секции становятся больше расчетных. В процессе оплетки лентой секция промазывается асфальтовым лаком, который пропитывает все слои ленты. Поверх миканитовой ленты секция оплетается хлопчатобумажной лентой толщиной 0,2 мм вполуперекрышку. Хлопчатобумажная лента служит для стягивания слоев миканитовой ленты, а также в качестве защиты ее от механических повреждений и должна быть намотана с сильным натяжением. После изоляции секции поступают в опрессовку для придания им требуемых размеров и затем в сушку для испарения жидких растворителей лака. Секции машин с напряжением 6300 В подвергаются сушке в баках с разреженным давлением воздуха (вакуумная сушка) и пропитывается под давлением густой компаундной массой, состоящей из асфальта и масла (процесс компаундировки).

34. ОДНОСЛОЙНЫЕ СЕКЦИОННЫЕ ОБМОТКИ

В американских двухслойных обмотках каждая сторона секции занимает половину паза, поэтому число секций обмотки равно числу пазов. Если каждая сторона секции будет занимать весь паз, то получится однослойная секционная обмотка. Очевидно, что число секций такой обмотки будет равно половине числа пазов. В противоположность катушечной обмотке такая обмотка может быть выполнена из однотипных секций с постоянным шагом. На фиг. 45 приведена схема однослойной секционной обмотки статора со следующими данными: число пазов — 12; число полюсов — 4; число пазов на полюс и фазу— 1; обмотка трехфазная.



Фиг. 45. Схема однослойной секционной обмотки.

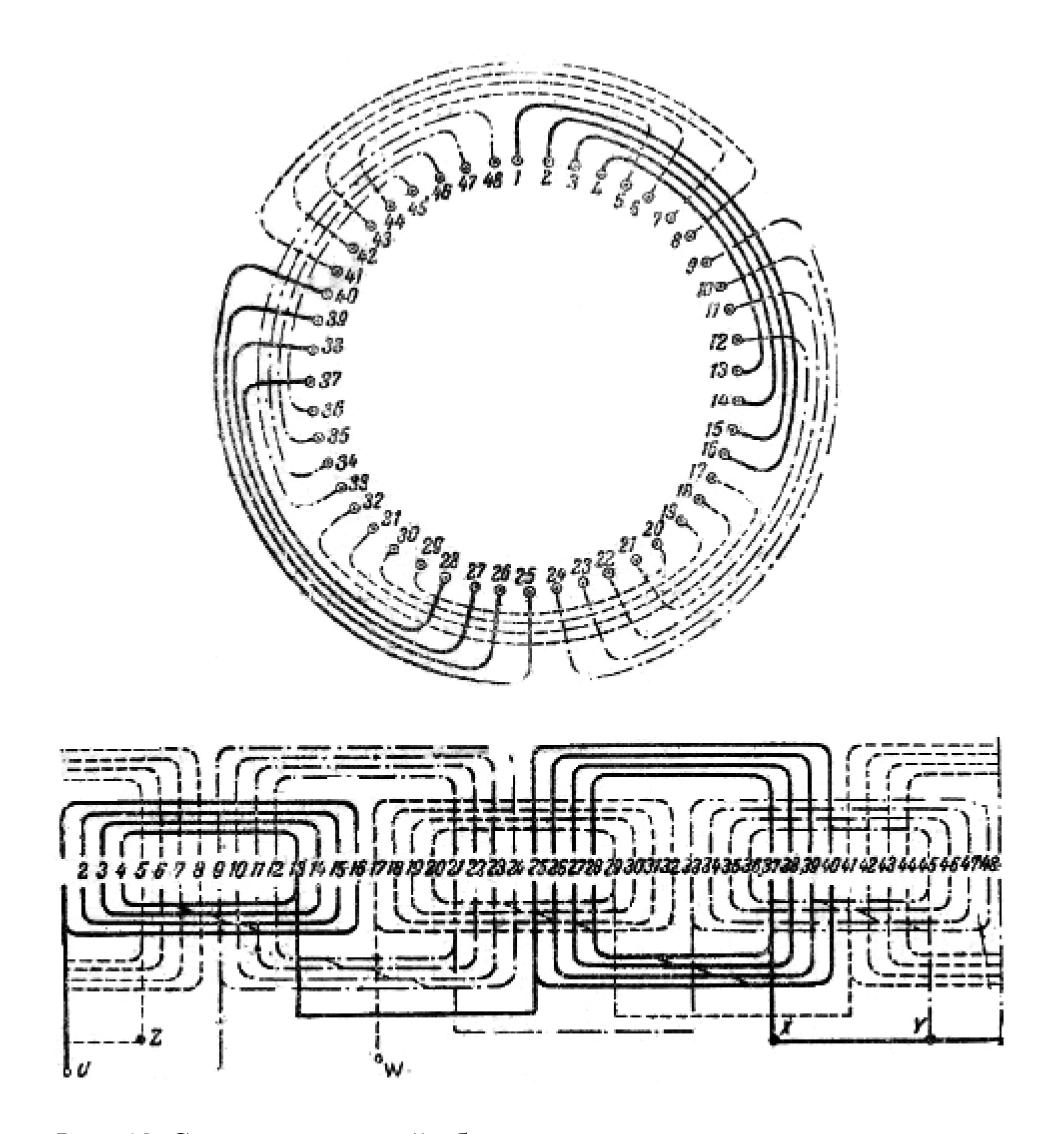
Вследствие значительно более трудоемкой закладки секций в пазы и трудности выгибания лобовых частей на статоре эта обмотка в современных машинах почти не применяется.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ СХЕМЫ ТРЕХФАЗНЫХ ОБМОТОК

35. ЧЕРТЕЖИ И СХЕМЫ ОБМОТОК

Обмотки электрических машин изображаются на бумаге в виде чертежей и в виде схем. Чертежи обмоток в основном выполняются по тем же правилам, которые существуют для чертежей механических деталей машин. На чертежах обмотки даются размеры секции, форма и размеры лобовых частей, расположение проводников в секции, укладка лобовых частей на обмоткодержателях и т. д. Однако, в чертежах обмоток имеются некоторые условности и отступления от правил проекционного черчения, которые надо знать, чтобы правильно понимать чертежи. Например, на фиг. 74 изображены в разрезе лобовые части обмотки в виде петли. Глядя на чертеж, можно подумать, что верхняя сторона секции, выходя из паза, загибается и переходит в нижнюю сторону, лежащую в том же пазе. На

самом же деле, как уже говорилось ранее, стороны секции лежат в разных пазах, отстоящих один от другого на расстоянии, равном шагу обмотки. Здесь в изображении допущена такая условность, которая объясняется тем, что все лобовые части одинаковы и образуют кольцо, форма которого и изображена на чертеже в разрезе. Второй пример можно видеть на фиг. 73. Здесь изображена форма секции, которую она будет иметь после укладки в пазы, когда лобовые части выгнуты в виде дуг, а на фиг. 74 дан вид сверху на секцию в развернутом виде, когда лобовые части секции представляют собой прямые линии. Размеры секции на фиг. 74 даны в плоском виде, т. е. это не проекции дуг, а их развернутые длины. Это делается потому, что для изготовления шаблона нужны именно развернутые размеры секции, так как шаблон для гибки — плоский. На чертежах паза в разрезе, которые всегда делаются в увеличенном масштабе, для упрощения вычерчивания верхняя линия, представляющая собой окружность якоря, изображается в виде прямой линии (фиг. 80). Ввиду того, что толщина изоляции обычно очень мала по сравнению с размерами обмоточной меди, число слоев ленты не разделяется линиями, а изображается в виде одной полоски. Линиями отделяются только разные изоляционные материалы, наложенные на секцию, и то лишь в чертежах, начерченных в сильно увеличенном масштабе. Число же слоев одной и той же ленты на чертежах не изображается, а пишется словами. Однако чертежами можно изобразить только отдельные части обмоток, т. е. катушки или секции и их укладку в пазы и на обмоткодержателях. Что же касается соединений между секциями обмотки, то их нельзя изобразить на чертежах, составленных по правилам проекционного черчения. Для этой цели служат схемы обмоток. Схема отличается от чертежа тем, что на ней элементы обмотки изображаются условными линиями, имеющими лишь приблизительное сходство с формой самих элементов. Все остальные детали, кроме проводников обмотки, обычно на схеме не показываются для того, чтобы не загромождать ее излишними изображениями, затрудняющими чтение схемы. Исключение составляют лишь такие детали, как выводные клеммы, контактные кольца, пластины коллектора, к которым присоединяются концы обмотки; эти детали изображаются на схеме условными знаками. Изображение этих деталей часто требуется для указания того места в машине, от которого обмотка должна начинаться.
При составлении схем допускается еще больше условностей, чем в чертежах обмоток. Например, если секция мотается в несколько параллельных проводников, то на схеме она изображается одной линией, так же как и секция, намотанная одним проводником. Обычно секция имеет несколько оборотов, на схеме же она опять-таки изображается одной линией в виде замкнутой фигуры, напоминающей форму секции, из которой ответвляются только выводные концы секции (фиг. 46 Б). Схемы обычно изображаются в одной проекции, а отличие верхних и нижних сторон секций в пазах делается условными линиями, например, верхние стороны проводятся жирными линиями, а нижние — тонкими. В обмотках машин трехфазного тока отдельные фазы, для удобства чтения, схемы также изображаются различными условными линиями (оплошная, пунктирная и штрихпунктирная) (фиг. 46). Очень наглядными получаются трехфазные схемы, когда они вычерчены в три цвета, но ввиду того, что цвета не передаются при обычном способе светокопирования чертежей, цветные схемы можно сделать только в одном экземпляре или размножать их путем повторного вычерчивания. Поэтому такие схемы делаются очень редко. Уменье разбираться в схемах обмоток является основой теоретического обучения обмотчика электрических машин, поэтому ниже приводится подробный разбор общих правил построения схем и примеры их выполнения для различных типов обмоток машин трехфазного и постоянного тока. Для лучшего изучения схем рекомендуется наряду с рассмотрением готовых схем чертить их самостоятельно на бумаге.

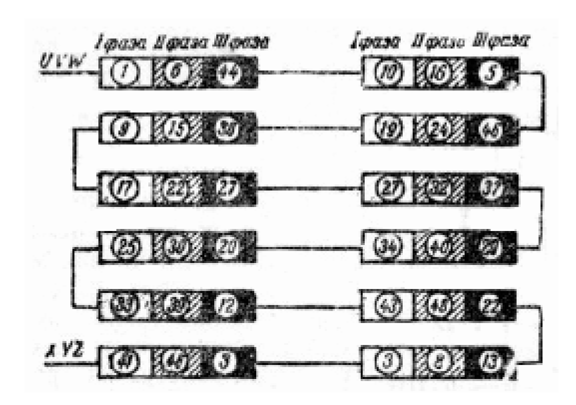


Фиг. 46. Схема катушечной обмотки статора, торцевая и развернутая.

36. СПОСОБЫ ИЗОБРАЖЕНИЯ СХЕМ

Для изображения схем обмоток существует несколько способов. Наиболее распространенным способом изображения обмотки является развертка окружности статора на плоскость. При этом проводники, лежащие в пазах, изображаются вертикальными линиями, а лобовые части для катушечных обмоток — прямоугольными скобами (фиг. 46 Б), а для американских обмоток—угловыми перемычками V-образной формы (фиг. 51). Для того чтобы представить себе такую схему, надо на внутреннюю окружность статора навернуть полоску бумаги так, чтобы начало и конец полоски сходились встык на одном из зубцов. Если бумажную полоску пригладить рукой к окружности статора, то на ней останутся отпечатки зубцов в виде темных полосой; белые промежутки между ними, обозначающие пазы статора. Для того чтобы получить развертку окружности статора, надо бумажную полоску вынуть из расточки статора и распрямить ее на столе, повернув кверху стороной с отпечатками пазов и зубцов. Если теперь в отпечатках пазов провести карандашом линии, то они и будут изображать проводники, лежащие в пазах. Однако такая схема особенно для крупной машины получилась бы очень большой, и ею было бы неудобно пользоваться. Поэтому в действительности схемы чертят в уменьшенном виде. В отличие от чертежей в схемах не руководствуются правилом пропорционального уменьшения всех элементов обмотки, т. е. схемы чертят, не пользуясь масштабом. Развернутые схемы обмоток имеют то преимущество, что на них можно изобразить одновременно и проводники, лежащие в пазах, а лобовые части с обеих сторон статора или ротора. Некоторое затруднение

для чтения развернутых схем представляет то обстоятельство, что начало и конец развертки, которые на статоре лежат в непосредственной близости, на развернутой схеме получаются удаленными один от другого на всю длину схемы, а соединения лобовых частей обмотки оказываются в этом месте разрезанными. При чтении схемы приходится мысленно проследить соединение от конца схемы к началу подобно тому, как при чтении книги производится переход от конца одной строки к началу следующей. При составлении схемы надо стремиться выбирать место разреза схемы таким образом, чтобы наименьшее число элементов обмотки оказалось перерезанным. Подробнее об этом будет сказано далее. Указанное выше затруднение отсутствует при чтении круглых или торцевых схем обмотки (фиг. 46 А). Такая схема представляет собой, в сущности, схематическое изображение торца статора с условным обозначением пазов и лобовых соединений обмотки. Круглые схемы являются очень наглядными для укладки обмотки в пазы, особенно для мало подготовленных обмотчиков.



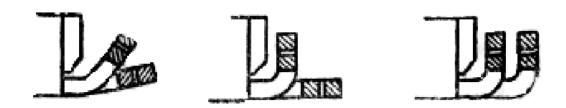
Фиг. 47. Схема американской обмотки в виде таблицы.

Однако, на этих схемах трудно, а иногда и просто невозможно изобразить соединения между катушками и фазами обмотки, и поэтому эти схемы следует признать менее совершенными, чем развернутые схемы. Вообще круглые схемы следует рассматривать как наглядное руководство при изучении и разборе схем обмоток, особенно катушечных, и с этой точки зрения они приносят определенную пользу. Для рабочих чертежей машин в заводской практике эти схемы почти никогда не применяются. Для американских обмоток, в которых укладка в пазы очень проста и основная задача схемы заключается в том, чтобы указать порядок соединения секций в группы и групп между собой, наряду с развернутыми схемами применяются схемы в виде таблиц с обозначением номеров пазов цифрами, а фаз обмотки условной штриховкой (фиг. 47).

37. СХЕМЫ КАТУШЕЧНЫХ ОБМОТОК СТАТОРА И РОТОРА

Схемы катушечных трехфазных обмоток обычно изображаются в развернутом виде, чтобы указать укладку секций в пазы и соединение между ними. На развернутых схемах разница между обмоткой статора и ротора заключается только в присоединении выводных концов обмотки, которые у ротора присоединяются к контактным кольцам, а у статора—к клеммовой дощечке. В отношении расположения и соединения между собой проводников статорные схемы выполняются так же, как и роторные. Данными для составления схемы трехфазной обмотки являются число пазов, число полюсов, способ соединения фаз и число параллельных цепей обмотки. Зная число пазов и число полюсов, легко определить число пазов на полюс и фазу. Для этого надо число пазов разделить на число фаз и на число полюсов. Если, например, число пазов равно 48, число фаз равно 3, а число полюсов 4, то число пазов на полюс и фазу получится из следующего расчета: 48 : 3 = 16 и 16 : 4 = 4.

Число пазов на полюс и фазу обозначается латинской буквой q (ку), число пазов — буквой z (зет), а число полюсов $2p$ (два пе). При этих обозначениях технические данные обмотки сокращенно будут написаны так: z = 48, $2p$ = 4, q = 4. На фиг. 46 представлены торцевая и развернутая схемы этой обмотки. Как видно на схеме, лобовые части катушек расположены в 2 этажа. Это можно сделать по одному из вариантов, изображенных на фиг. 48. Каждая сторона катушки занимает 4 паза, что соответствует числу пазов на полюс и фазу. Внутренние витки каждой катушки охватывают 8 пазов, которые заполняются сторонами катушек, принадлежащих двум другим фазам. На торцевой схеме видно только расположение катушек в пазах, тогда как на развернутой схеме указаны также соединения между витками в каждой катушке и соединения между катушками.



Фиг. 48. Форма лобовых частей ручной обмотки.

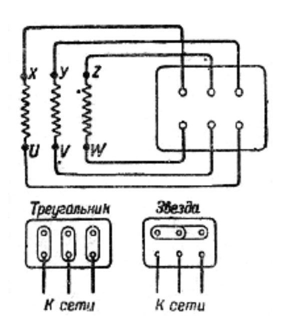
Как видно на развернутой схеме, внутренние соединения в катушках выполнены так, что, обходя катушку от наружного витка к центру, мы совершаем движение по часовой стрелке. В каждом пазу лежит по несколько проводников, поэтому катушка изображается в виде замкнутых рамок. Переходные проводники, соединяющие витки катушки, изображены косыми линиями. Разрез развертки сделан между первым и сорок восьмым пазами.

38. СОЕДИНЕНИЕ КОНЦОВ КАТУШЕЧНОЙ ОБМОТКИ

Самая трудная часть работы обмотчика заключается в выполнении соединений между катушками. Проследим выполнение соединений на развернутой схеме (фиг. 46 Б). В этой схеме б катушек, т. е. в. полтора раза больше, чем число полюсов. Каждая катушка имеет по два выводных проводника. Для выполнения соединений берут три выводных проводника от трех, рядом расположенных катушек. На данной схеме эти проводники взяты от внешних витков катушек, которые выходят из 1-го, 9-го и 17-го пазов. Расстояние между этими проводниками равно удвоенному числу пазов на полюс и фазу. Эти три выводных конца пойдут к клеммовой дощечке, поэтому должны быть выбраны вблизи от клеммовой коробки. Затем производится соединение катушек в фазах. Катушки первой фазы изображены оплошными линиями, катушки второй фазы — штрихпунктирными линиями (точка — черта), а катушки третьей фазы пунктирными линиями (черточками). При соединении катушек, принадлежащих к одной и той же фазе, надо выполнять правило соединения «начала с концом». Это означает, что оставшееся свободным начало катушки первой фазы, выходящее из 13-го паза, соединяется с концом второй катушки этой же фазы, выходящим из 25-го паза. Во второй фазе начало катушки, выходящее из 21-го паза, соединяется концом катушки, выходящим из 33-го паза. В третьей фазе начало катушки, выходящее из 29-го паза, соединяется с концом катушки, выходящим из 41-го паза. После этого остаются свободными начала катушек, выходящие из 31-го, 45-го и 5-го пазов. Ввиду того, что в данной схеме обмотка должна соединяться в звезду, эти три проводника соединяются в общую точку. Таким образом, всякая трехфазная обмотка после соединения катушек в фазах будет иметь б выводных проводников, т. е. 3 начала фаз и 3 конца фаз. На схеме (фиг. 46) начала фаз обозначены буквами X, У, Z и соединены в общую точку внутри машины, а концы фаз обозначены буквами U, V, W и выводятся на клеммовую дощечку.

39. СХЕМА КЛЕММОВОЙ ДОЩЕЧКИ

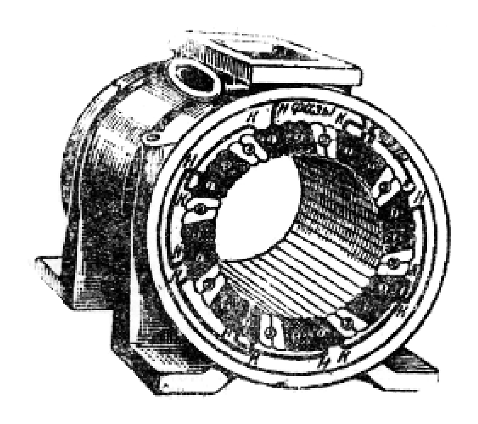
В большинстве асинхронных электродвигателей все 6 выводных проводников обмотки выводятся на клеммовую дощечку для того, чтобы можно было производить переключение обмотки со звезды на треугольник. Благодаря этому электродвигатель может быть применен в сетях с напряжением 220 и 380 В. Для сети 380 В обмотка соединяется в звезду, а для сети 220 В — в треугольник. При соединении обмотки в треугольник надо конец первой фазы соединить с началом второй фазы, конец второй фазы — с началом третьей фазы и конец третьей фазы—с началом первой фазы. Провода, идущие от линии, приключаются к этим соединениям. На фиг. 49 изображена клеммовая дощечка с контактными шпильками, к которым подведено 6 выводных проводников обмотки статора. В клеммовой коробке есть контактные пластинки с отверстиями, которыми они надеваются на клеммовые шпильки. Расстояния между клеммами по горизонтали должны быть равны расстояниям между клеммами по вертикали для того, чтобы пластинки можно было надевать в различных комбинациях и получать соединение в треугольник и в звезду.



Фиг. 49 Схема клеммовой дощечки.

40. СХЕМЫ АМЕРИКАНСКИХ ОБМОТОК

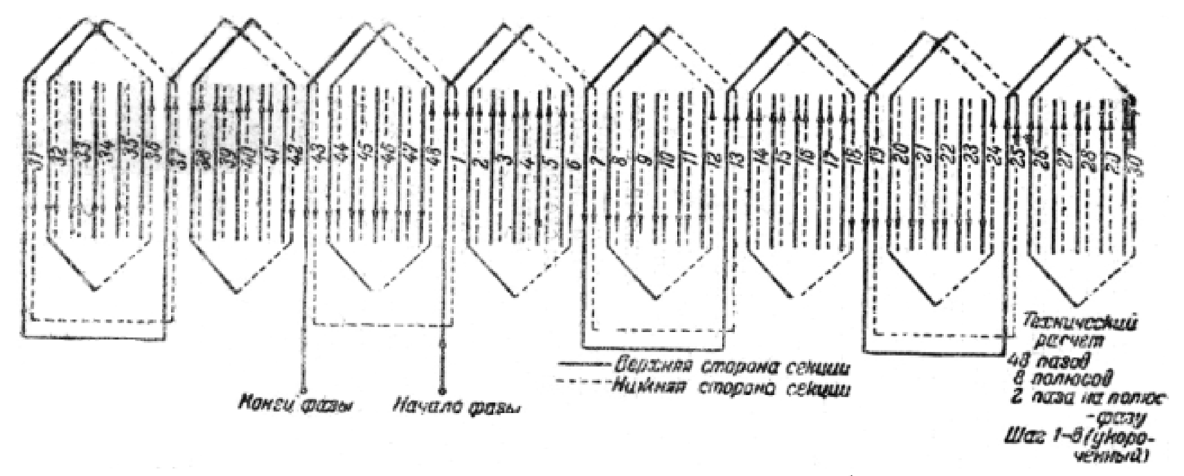
На фиг. 50 изображена торцевая схема американской обмотки статора со следующими данными: z = 48, 2p = 8, q = 2. Секции катушек разных фаз заштрихованы по-разному и обозначены цифрами в кружочках. Каждая фаза занимает по 2 паза соответственно числу пазов на полюс и фазу. Такая обмотка может быть выполнена групповыми секциями (двойками), поэтому соединения между рядом лежащими секциями одной фазы выполняются обмоточным проводом при намотке секций.



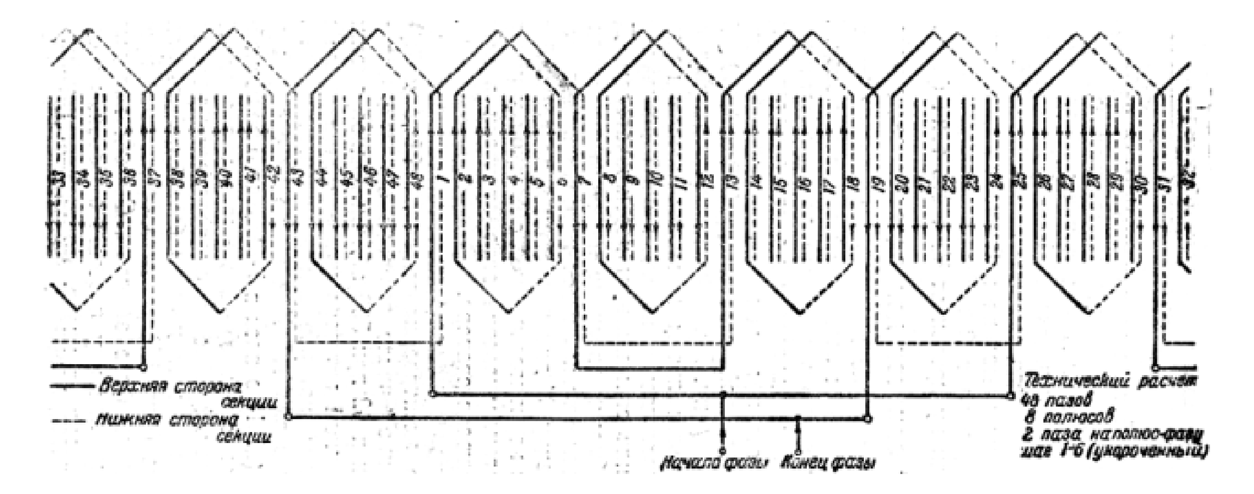
Фиг. 50. Торцевая схема американской обмотки.

Соединения между групповыми секциями одной фазы изображены на схеме только для первой фазы. Начала и концы каждой секционной группы обозначены буквами *Н* и *К*—Как видно на схеме, при соединении секционных групп соединяются одноименные выводы

групп, т. е. концы с концами и начала с началами. Таким образом, в американских обмотках правило соединений — обратное тому, какое существует для соединения ручных (катушечных) обмоток. На торцевой схеме (фиг. 50) не видно шага обмотки по пазам, поэтому она может служить только для соединения фаз. На фиг. 51 изображена развернутая схема этой же обмотки с соединениями в одной фазе. Соединения в остальных двух фазах производятся аналогично первой. Проводники, лежащие в верхнем слое обмотки, изображены сплошными линиями, а проводники, лежащие в нижнем слое обмотки — пунктирными линиями. Лобовые соединения обмотки переходят из верхнего слоя в нижний. Как видно на схеме, шаг обмотки равен 5 (из 1-го паза в 6-й). Нормальный шаг обмотки при 48 пазах и 8 полюсах должен был бы равняться 48 : 8 = 6. Следовательно, данная обмотка имеет укороченный шаг (на 1 паз). На схеме (фиг. 51) все проводники фазы соединены в одну последовательную цепь. Бывают обмотки, у которых секции фазы соединяются в две или несколько параллельных цепей. Это делают в тех случаях, когда ток фазы велик, для уменьшения поперечного сечения проводника. На фиг. 52 дана схема с такими же техническими данными, но соединенная в две параллельные группы. Ток, поступающий в начало фазы, как указано на схеме стрелкой, разветвляется в проводники 1-го и 25-го паза и, обойдя всю фазу по двум параллельным ветвям, из пазов 19-го и 43-го выходит через проводник конца фазы. Таким образом, сечение обмоточного провода выбирается на половину тока фазы и может быть уменьшено в два раза.



Фиг. 51. Развернутая схема американской обмотки.



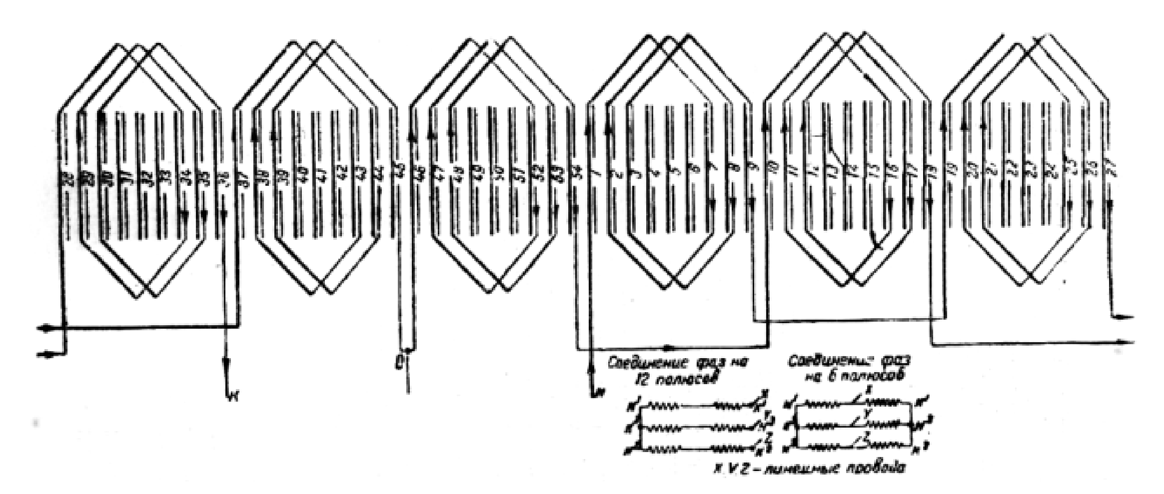
Фиг. 52. Схема американской обмотки с двумя параллельными цепями.

При большой силе тока применяется намотка секций в несколько параллельных проводников, однако на схемах это не отображается, так как на укладку секций и пазы и на соединение секций в фазах параллельные проводники никакого влияния не оказывают.

Если секция намотана в 3 параллельных провода, а обмотка соединена в 2 параллельные цепи, то по каждому проводнику протекает $^{1}/_{6}$ часть тока фазы.

41. СХЕМЫ ОБМОТОК ДВУХСКОРОСТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Как было сказано выше (§ 27), число оборотов асинхронного двигателя зависит от числа полюсов. На этом принципе основано устройство двухскоростных электродвигателей. Эти двигатели могут работать при двух разных скоростях «ращения, одна из которых в два раза больше другой, например, 3000 и 1500 об/мин или 1000 и 500 об/мин. Изменение скорости вращения ротора производится путем изменения числа полюсов, которое осуществляется на клеммовой дощечке электродвигателя, или специальным переключателем. Для переключения обмотки в схеме предусматриваются дополнительные отпайки, концы от которых выведены на клеммовую дощечку. У двухскоростных двигателей ротор выполняется с короткозамкнутой обмоткой, у которой число полюсов устанавливается автоматически в зависимости от числа полюсов статора. На фиг. 53 приведена схема обмотки статора двухскоростного электродвигателя на 1000 и 500 об/мин. Соответственно число полюсов обмотки будет 6 при 1000 об/мин и 12 при 500 об/мин. Одновременно с переключением числа полюсов изменяется и число пазов на полюс и фазу, которое при 6 полюсах равно 3, а при 12 полюсах равно 1,5. Как видно на схеме, шаг обмотки равен 6 (из 1-го паза в 7-й). Для 6-полюсной обмотки при 54 пазах в статоре это будет укороченный шаг, а для 12-полюсной обмотки он является удлиненным, так как нормальный шаг должен был бы быть равным 4,5. На схеме (фиг. 53) указано соединение проводником только в одной фазе обмотки. Секции вкладываются в пазы так же, как и у простых обмоток, но соединение групп производится иначе. Во-первых, группы соединяются не подряд, а через одну и производится соединение не одноименных, а разноименных выводов, т. е. соединение конца с началом. После обхода трех групп делается отводка на дощечку зажимов, обозначенная буквой О. Если ток входит в начало фазы, а выходит из конца фазы *К*, то направление токов в проводниках обмотки будет соответствовать направлению стрелок. Такое направление токов будет при соединении обмотки на 12 полюсов, как указано на схеме внизу слева. Если же ток будет входить в фазу через отводку О, то в одной ветви обмотки направление токов сохранится, а в другой изменится на обратное. Соответственно изменится число полюсов обмотки, которое будет равно 6. Такое направление токов будет при включении обмоток по схеме, показанной на фиг. 53 внизу справа.



Фиг. 53. Схема обмотки двухскоростного двигателя.

Буквами X,Y и Z обозначены на схеме линейные провода от сети трехфазного тока. Двухскоростные электродвигатели очень удобны для применения в тех случаях, когда требуется изменение числа оборотов в широких пределах. Благодаря переключению

электродвигателя на разное число оборотов можно значительно упростить, а иногда и совершенно устранить зубчатые передачи с переключением шестерен для изменения числа оборотов приводного механизма. Эти передачи занимают много места, требуют сложной обработки и сборки, тогда как в электродвигателе это осуществляется простым изменением схемы без всяких дополнительных деталей, кроме трех лишних выводов. Намотка секций и укладка их в пазы у двухскоростных двигателей производятся совершенно так же, как и у обычных двигателей. В последнее время стали применять электродвигатели с большим числом скоростей, которые получили название многоскоростных.

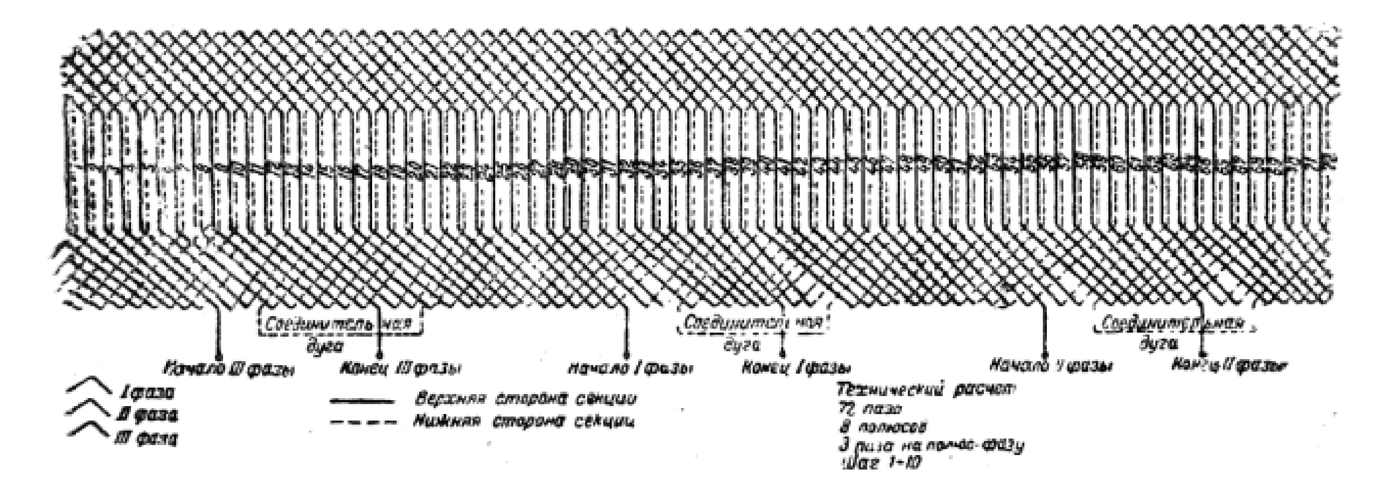
42. СХЕМЫ СТЕРЖНЕВЫХ ОБМОТОК РОТОРА

На фиг. 54 представлена схема стержневой обмотки ротора волнового типа со следующими техническими данными: число пазов $z = 72$ число полюсов $2p = 8$, число пазов на полюс и фазу $q = 6$, шаг по пазам 1 — 10. На схеме указаны соединения только в одной фазе. Обмотка — двухслойная, поэтому на схеме верхние стержни обозначены сплошными линиями, а нижние — пунктирными. Особенностью волновых обмоток является то, что каждая фаза состоит из двух полуфаз соединенных между собой перемычкой, выполненной из обмоточного провода в форме дуги.



Фиг. 55. Соединительная дуга стержневой обмотки.

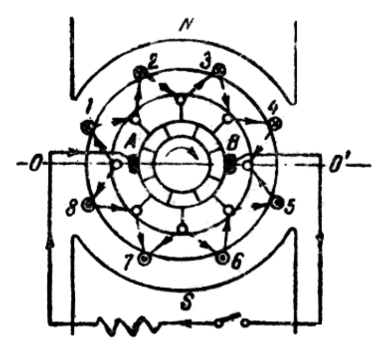
Соединение между двумя стержнями дуги отогнуто под лобовые части обмотки, как видно на фиг. 55. В каждой фазе устанавливается по одной дуге. У стержневых обмоток шаг по пазам делается нормальным (в данной обмотке шаг - 72 : 8 = 9) и такой же шаг имеет соединительная дуга (на схеме из 39-го в 48-й паз). При подходе к соединительной дуге шаг обмотки уменьшается на 1 паз, что осуществляется путем подгибки лобовой части стержня.
На схеме легко заметить, что около дуги шаг обмотки со стороны выводов — из 30-го паза в 38-й, т. е. равен 8. Если бы не делать этого укорочения шага, то цепь каждой фазы была бы замкнута сама на себя, чего нельзя допустить. Как видно на схеме, дуга соединяет два стержня, лежащие в нижнем слое (изображены пунктиром), тогда как все другие соединения являются переходными из верхнего слоя в нижний. Соединительные дуги вкладываются в пазы до начала укладки остальных стержней. Они располагаются симметрично по окружности ротора. Отсюда легко определить расстояние между дугами, выраженное числом пропущенных пазов. Общее число пазов 72; соединительные дуги с шагом 1 —10 охватывают 3×10=30 пазов, на 3 промежутка между ними остается 72—30=42 паза. Следовательно на каждый промежуток приходится по 42 : 3 = 14 пазов. Таким образом, при закладывании дуг между сторонами соседних дуг должно оставаться 14 свободных пазов. Полная схема обмотки ротора с обозначением всех ее фаз изображена на фиг. 56.



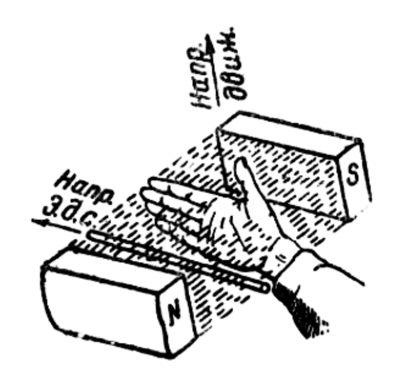
Фиг. 56. Полная схема стержневой обмотки ротора.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ
СХЕМЫ ОБМОТОК ЯКОРЯ
43. СПИРАЛЬНАЯ ОБМОТКА КОЛЬЦЕВОГО ЯКОРЯ

В старых электрических машинах якорь представлял собой замкнутое кольцо прямоугольного сечения, на которое наматывались витки обмотки. Схема спиральной обмотки кольцевого якоря изображена на фиг. 57. При вращении якоря в магнитном поле полюсов в проводниках обмотки, расположенных на внешней поверхности кольца, будут индуктироваться электродвижущие силы, направление которых определяется по правилу правой руки, известному из курса электротехники (фиг. 58). На схеме фиг. 57 электродвижущие силы, направленные от нас, обозначены крестиком в кружочке, а электродвижущие силы, направленные к нам, — точкой в кружочке. Проводники обмотки соединены между собой так, что электродвижущие силы в каждой половине обмотки складываются.



Фиг. 57. Спиральная обмотка якоря.

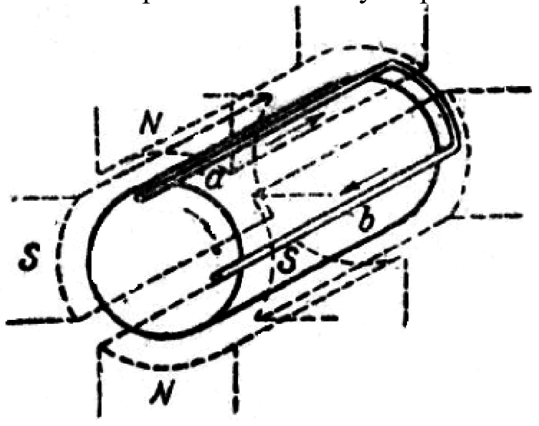


Фиг. 58. Правило правой руки.

По отношению к внешней цепи электродвижущие силы обеих половин обмотки имеют одинаковое направление и при замкнутой внешней цепи создают ток, который выходит из щетки В, проходит через внешнюю цепь и возвращается в щетку А. Обе половины обмотки соединены между собой параллельно, и поэтому ток в проводниках обмотки равен половине тока, проходящего через внешнюю цепь. Следовательно, обмотка имеет две параллельные ветви. Кольцевые якоря в современных машинах не применяются ввиду того, что обмотка их может производиться только вручную и требует большого расхода меди, так как проводники, лежащие на внутренней поверхности цилиндра, не участвуют в создании электродвижущей силы.

44. ОБМОТКИ БАРАБАННОГО ЯКОРЯ

Барабанный якорь представляет собой цилиндр (фиг. 59) с пазами на поверхности, в которых располагаются проводники обмотки. Таким образом, все проводники обмотки участвуют в создании электродвижущей силы. Порядок вкладывания обмотки в пазы описан в гл. 10. Преимуществом барабанного якоря перед кольцевым является то, что обмотки заготовляются и изолируются отдельно и вкладываются в пазы якоря в виде готовых секций. Благодаря этому процесс обмотки якоря значительно ускоряется.



Фиг. 59. Барабанный якорь.

Соединение между проводниками обмотки, лежащими в пазах, осуществляется через лобовые части секций, лежащие на изолированных обмоткодержателях. Выводные концы секций припаиваются к пластинам коллектора. Характерными показателями обмоток, с которыми приходится иметь дело при обмотке якорей, являются шаг обмотки по пазам и шаг по коллектору, которые обозначаются на схемах обмотки.

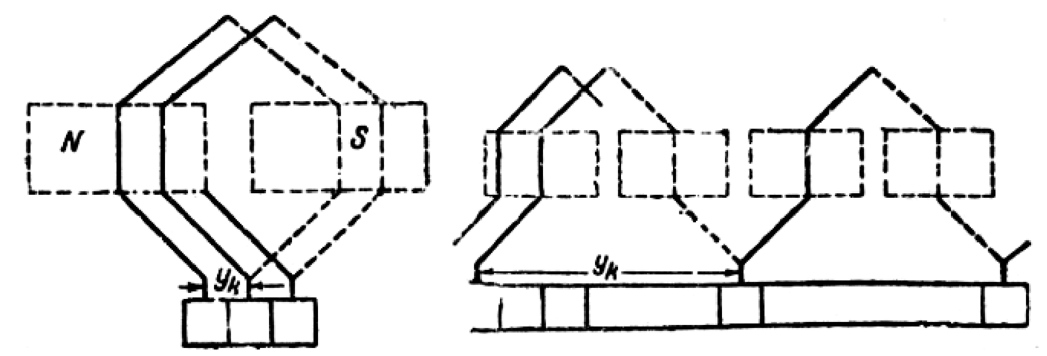
45. ГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ ОБМОТОК

Назначение схемы обмотки состоит в том, чтобы изобразить порядок укладки секций в пазы и присоединение концов секций к коллектору. Для того чтобы правильно выполнить обмотку якоря, надо хорошо уметь читать схемы обмоток. Схемы обмоток якоря, так же как и схемы обмоток переменного тока, бывают торцевые и развернутые. На торцевых схемах изображается схематический вид якоря с торца с лежащими в пазах проводниками. Лобовые части обмотки с противоположной стороны якоря условно изображаются над окружностью якоря. Развернутые схемы изображают наружную поверхность якоря и коллектора, развернутыми на плоскость. Отличием обмоток якоря от обмоток машин переменного тока является то, что все секции обмотки вкладываются в пазы и присоединяются к коллекторным пластинам совершенно симметрично, поэтому задача схемы состоит в том, чтобы указать, как надо сложить в пазы и присоединить к коллектору первую секцию, а остальные секции будут ложиться совершенно симметрично, сдвигаясь по окружности якоря. Для этой цели

наиболее удобны торцевые схемы, как более наглядные и простые. Поэтому на практике чаще всего встречаются именно торцевые схемы обмотки якоря с обозначением одной или нескольких секций. К развернутым схемам обычно прибегают лишь для изображения и сравнения различных типов обмоток (петлевые, волновые и т. п.)

46. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ОБМОТОК

Обмотки якорей машин постоянного тока разделяются на два основных типа: петлевые обмотки и волновые обмотки. На фиг. 60 изображена принципиальная схема петлевой обмотки. Она получила свое название потому, что при прохождении по проводникам обмотки ток якоря делает петли. Как видно на схеме, у петлевой обмотки начало и конец каждой секции сближены и присоединены к двум соседним коллекторным пластинам. На фиг. 61 изображена принципиальная схема волновой обмотки. В отличие от петлевой обмотки концы секций волновой обмотки разведены в разные стороны и присоединены к двум коллекторным пластинам, удаленным одна от другой на двойное полюсное деление. Поэтому при прохождении через проводники обмотки ток совершает волнообразный путь. Если секции выполнены из шинной меди, то по расположению выводных концов легко определить, предназначены ли они для петлевой или волновой обмотки. Если же секции выполнены из медной проволоки, то концы ее мягкие и выгибаются на якоре при укладке секций в пазы. Такие секции могут быть применены как для петлевой, так и для волновой обмотки, в зависимости от того, какая обмотка требуется схемой. В чем состоит различие между петлевой и волновой обмотками с электротехнической точки зрения будет сказано ниже.

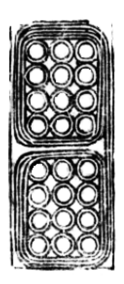


Фиг. 60. Петлевая обмотка Фиг. 61. Волновая обмотка якоря.

47. ЭЛЕМЕНТ ОБМОТКИ - СЕКЦИЯ

Слово «секция» имеет два значения. В теории обмоток секцией называется элемент обмотки, т. е. совокупность проводников между двумя коллекторными пластинами. На производственном языке секцией называется несколько таких элементов, изолированных вместе и вложенных в пазы якоря. В дальнейшем под словом секция мы будем подразумевать именно это определение, так как оно имеет широкое применение в производстве. В зависимости от числа выводных концов секции можно определить, из скольких она состоит элементов. Выводные концы секции носят название «секционных сторон», если они присоединяются к разным коллекторным пластинам. Но иногда в каждую коллекторную пластину вкладывается по два конца одной секции. Такая секция имеет два параллельных провода, и число сторон секции будет равно половине числа выводных концов. Секция может иметь один или несколько оборотов. У однооборотной секции лобовые части со стороны коллектора соединены между собой (фиг. 74). Наоборот, многооборотная секция представляет собой замкнутый контур с отходящими от него выводными концами (фиг. 23). Если посмотреть на разрез секции, не имеющей параллельных проводников, то число проводников в горизонтальном ряду указывает на число секционных

сторон, а количество рядов равно числу оборотов секции. На фиг. 62 изображен разрез паза, в который вложены две секции, имеющие три активных секционных стороны и четыре оборота. Число активных секционных сторон, умноженное на число пазов якоря, равно числу пластин коллектора. Изготовление различных типов секций подробно описано в гл. 9.



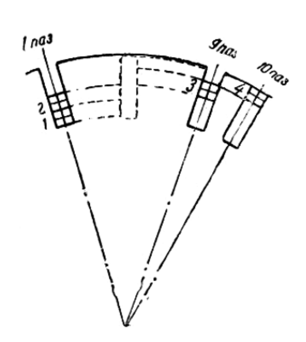
Фиг. 62. Разрез паза якоря.

48. ШАГ ОБМОТКИ

Обмотки якорей машин постоянного тока характеризуются шагом по пазам и шагом по коллектору. Шаг по пазам обозначается латинской буквой y (игрек) со значком z и определяется формулой:

$$y_z = z / 2p$$

где z — число пазов якоря; $2p$ — число полюсов машины. Ввиду того, что часто число пазов не делится без остатка на число полюсов, то за шаг обмотки по пазам принимается ближайшее целое число. Например, если z = 43, а $2p$ = 6, то шаг обмотки берут равным 7 или даже 6. В этом случае обмотка называется обмоткой с укороченным шагом. При укладке секций в пазы якоря надо к номеру паза, в который закладывается нижняя сторона секции, прибавить число, выражающее шаг обмотки по пазам, и мы получим номер паза, в который должна быть вложена верхняя сторона секции. Например, если шаг обмотки $y_z = 43 / 6 = 7^1/_6$, а нижняя сторона первой секции закладывается в первый паз, то верхняя сторона секции должна быть вложена в восьмой паз, так как 1+7 = 8. Для большей ясности в рабочих чертежах шаг обмотки по пазам, как и в трехфазных обмотках, выражается не одним числом, а номерами пазов, в которые вкладываются стороны секции, написанными через тире.



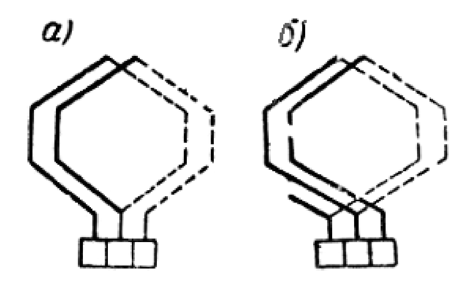
Фиг. 63. Ступенчатая обмотка.

Например: шаг обмотки 1 — 8. Это читается: шаг обмотки «из первого в восьмой паз». От шага обмотки по пазам зависят размеры лобовых частей секции, т. е. чем больше шаг обмотки, тем длиннее лобовые части секций. Некоторые обмотки выполняются так, что шаг по пазам одних проводников секции обмотки на единицу больше шага других проводников. Таким образом, если, например нижняя сторона секций обмотки заложена в паз № 1, то верхняя сторона секции обмотки укладывается в пазы № 9 и № 10. Поэтому нижние стороны секций обмотки изолируются общей лентой вместе, а верхние стороны, вкладываемые в

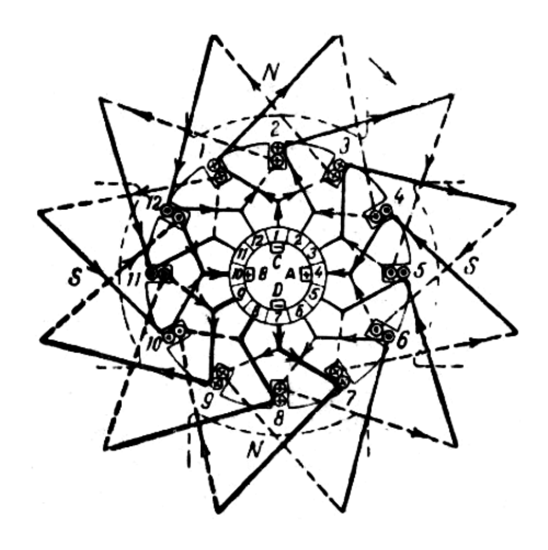
разные пазы, изолируются отдельно и имеют различную длину лобовых частей, как это видно на фиг. 63. Такие обмотки называются ступенчатыми. Они располагаются в пазу в 4 слоя. На фиг. 63 слои обозначены цифрами 1, 2, 3, 4. Определение шагов обмотки по коллектору будет рассмотрено ниже для каждой обмотки отдельно.

49. ПРОСТАЯ ПЕТЛЕВАЯ ОБМОТКА

У простой петлевой обмотки шаг по коллектору всегда равен 1. Это значит, что начало и конец секция присоединяются к двум соседним коллекторным пластинам. На рабочих чертежах это обозначается так: шаг по коллектору 1—2, т. е. из первой коллекторной пластины во вторую. Осуществляя петлевую обмотку и начиная с какой-нибудь секции, мы в дальнейшем перемещаемся к соседней секции. При этом мы можем перемещаться по якорю и по коллектору вправо или плево, в зависимости от того, будем ли мы присоединять к первой секции вторую, справа или вторую слева. В первом случае обмотка носит название правой петлевой обмотки (фиг. 64, *а*), а во втором случае — левой петлевой или перекрещивающейся обмотки (фиг. 64, *б*), так как у нее концы секции перекрещиваются. Следует отметить, что левые петлевые обмотки почти никогда не применяются, так как на них тратится больше обмоточного провода и затрудняется укладка лобовых частей.



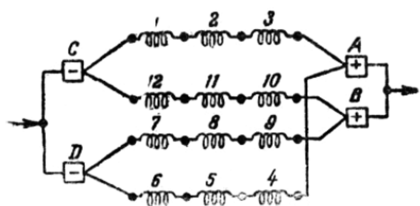
Фиг. 64. Правая и левая петлевые обмотки.



Фиг. 65. Петлевая обмотка.

На фиг. 65 изображена торцевая схема простой петлевой обмотки якоря четырехполюсной машины, имеющего 12 пазов. Как видно на схеме, шаг обмотки по пазам равен 3, так как секции укладываются из первого паза в четвертый (1—4). Каждая секция имеет одну секционную сторону (состоит из одного провода), поэтому число коллекторных пластин равно числу пазов. Обходя обмотку, начиная с первой коллекторной пластины, мы будем перемещаться по якорю и коллектору вправо. Следовательно, это — правая петлевая обмотка. Начало первой секции соединено с первой коллекторной пластиной, а конец первой

секции соединен со второй коллекторной пластиной, т. е. шаг по коллектору 7—2 (равен 1). На коллекторе изображены 4 щетки A, B, C и D. Через щетки A и B ток выходит из обмотки якоря во внешнюю цепь, а через щетки C и D ток возвращается обратно в обмотку якоря. На схемах генераторов щетки, через которые ток выходит во внешнюю цепь, обозначаются знаком + и называются положительными, а щетки, через которые ток входит в обмотку, обозначаются знаком — и называются отрицательными. У электродвигателей обозначение щеток на схемах обратное.



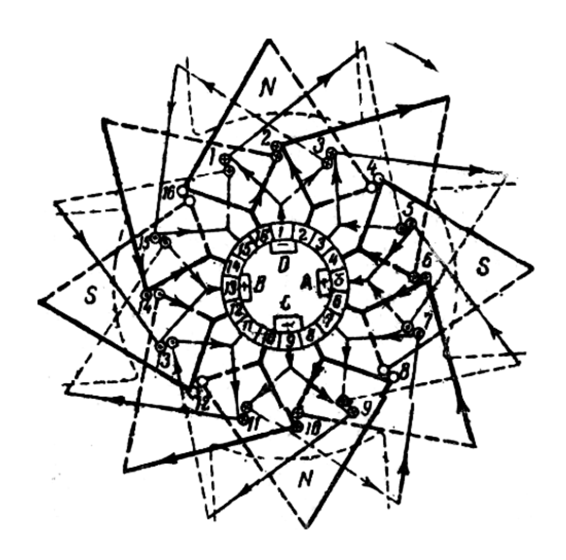
Фиг. 66. Распределение тока между параллельными ветвями обмотки.

Через каждую пару щеток A, B и C, D проходит весь ток якоря, следовательно, через одну щетку проходит половина тока якоря. На схеме видно, что у коллекторных пластин 1, 4, 7, 10, на которых стоят щетки, сходятся или расходятся токи проводников обмотки. Таким образом, ток в каждом проводнике обмотки равен половине тока, проходящего через щетку, или $^{1}/_{4}$ общего тока якоря. Отсюда можно сделать вывод, что обмотка якоря имеет четыре параллельных ветви. Распределение тока якоря между щетками и параллельными ветвями обмотки наглядно изображено на развернутой схеме фиг. 66. Общее правило для простых петлевых обмоток выражается так: число параллельных ветвей обмотки равно числу полюсов машины.

50. МНОЖЕСТВЕННО-ПЕТЛЕВАЯ ОБМОТКА

Множественно-петлевая обмотка представляет собой несколько простых петлевых обмоток, наложенных на один якорь и соединенных между собой параллельно щетками на коллекторе. К таким обмоткам прибегают в тех случаях, когда надо увеличить число параллельных ветвей обмотки, чтобы снизить величину тока в каждой параллельной ветви. Это бывает необходимо в низковольтных машинах большой мощности, у которых сила тока якоря очень велика. В множественно-петлевой обмотке число параллельных ветвей увеличивается во столько раз, из скольких простых петлевых обмоток она состоит. Обычно множественно-петлевую обмотку составляют из двух простых обмоток, при этом число параллельных ветвей удваивается по сравнению с простой петлевой обмоткой. Отсюда можно вывести правило: число параллельных ветвей множественной петлевой обмотки в два раза больше числа полюсов машины. Как было сказано в предыдущем параграфе, шаг по коллектору простой петлевой обмотки всегда равен единице (1—2). Если мы хотим уложить на якоре множественно-петлевую обмотку, состоящую из двух простых петлевых обмоток, то при укладке первой обмотки мы должны оставить в коллекторе свободные пластины для вкладывания секционных сторон второй обмотки. Следовательно, шаг обмотки по коллектору будет уже не из первой пластины во вторую, а из первой пластины в третью, т. е. равен 2. В остальном множественно-петлевая обмотка ничем не отличается от простой петлевой обмотки и может быть намотана из тех же секции и с таким же шагом по пазам, как и простая петлевая обмотка. На фиг. 67 изображена торцевая схема множественно-петлевой обмотки четырехполюсной машины, якорь который имеет 16 пазов, а коллектор 16 коллекторных пластин. Каждая секция имеет одну секционную сторону, поэтому число коллекторных пластин равно числу пазов якоря. Шаг обмотки по пазам равен 4, как это вытекает из формулы: $y_z = z / 2p = 16 / 4 = 4$. Шаг обмотки по коллектору равен 2, так как эта обмотка состоит из двух простых петлевых обмоток. Если мы начнем обходить обмотку от первой коллекторной пластины, то будем сдвигаться по якорю вправо, следовательно, это— правая петлевая обмотка. Но при обходе обмотки будут оставаться не захваченные секции,

составляющие вторую половину множественно-петлевой обмотки. Таким образом, проводники одной половины обмотки присоединяются к коллекторным пластинам, имеющим нечетные номера, а проводники второй половины обмотки присоединяются к коллекторным пластинам, имеющим четные номера. Две соседние коллекторные пластины всегда замыкаются щеткой, так как ширина щетки в 2—3 раза больше толщины коллекторной пластины. Таким образом, ток щетки складывается из токов двух коллекторных пластин. Как было указано в предыдущем параграфе, ток одной щетки в четырехполюсной машине составляет половину от общего тока якоря, а ток каждой коллекторной пластины разветвляется на две ветви обмотки. Поэтому величина тока одной ветви множественно-петлевой обмотки составляет только $^1/_8$ часть общего тока якоря, а число параллельных ветвей обмотки равно 8. Это подтверждает выведенное выше правило, что число параллельных ветвей множественно-петлевой обмотки равно удвоенному числу полюсов. В практике множественно-петлевые обмотки встречаются довольно редко.



Фиг. 67. Множественно-петлевая обмотка.

51. ПРОСТАЯ ВОЛНОВАЯ ОБМОТКА

Как было сказано выше (см. § 46), характерной особенностью волновой обмотки является то, что выводные концы секции присоединяются не к соседним коллекторным пластинам, как в петлевой обмотке, а к двум коллекторным пластинам, расстояние между которыми определяется двойным полюсным делением. В четырехполюсной машине эти пластины будут расположены на противоположных сторонах коллектора. Но, обойдя с обмоткой окружность якоря, мы должны попасть в коллекторную пластину, соседнюю с той, от которой мы начали обход. Поэтому шаг волновой обмотки по коллектору определяется формулой:

$$y_k = k \pm 1 / p$$

где k — число коллекторных пластин; p — число пар полюсов. Шаг по коллектору должен выражаться целым числом, а потому в четырехполюсной машине ($2p = 2$) число коллекторных пластин при волновой обмотке обязательно должно быть нечетным. Волновая обмотка может быть правой или левой. В первом случае при обходе обмотки мы будем смещаться по коллектору вправо (по часовой стрелке), а во втором случае — влево (против часовой стрелки). Для того чтобы получить правую обмотку, надо в формуле определяющей шаг по коллектору, взять в числитель знак + (плюс). В противоположность петлевой обмотке правая волновая обмотка получается с перекрещенными концами у коллектора и в практике ее избегают применять по тем же соображениям, как и левую петлевую.

Поэтому почти исключительно применяется левая волновая обмотка, для которой в формуле для шага по коллектору надо взять знак — (минус), и формула примет такой вид:

$$y_k = k — 1 / p$$

т. е. шаг по коллектору волновой обмотки равен числу коллекторных пластин без одной, деленному на число пар полюсов.

Пример. Определить шаг по коллектору для волновой обмотки шестиполюсной машины, коллектор которой имеет 58 пластин:

$$y_k = (58 – 1) / 3 = 19$$

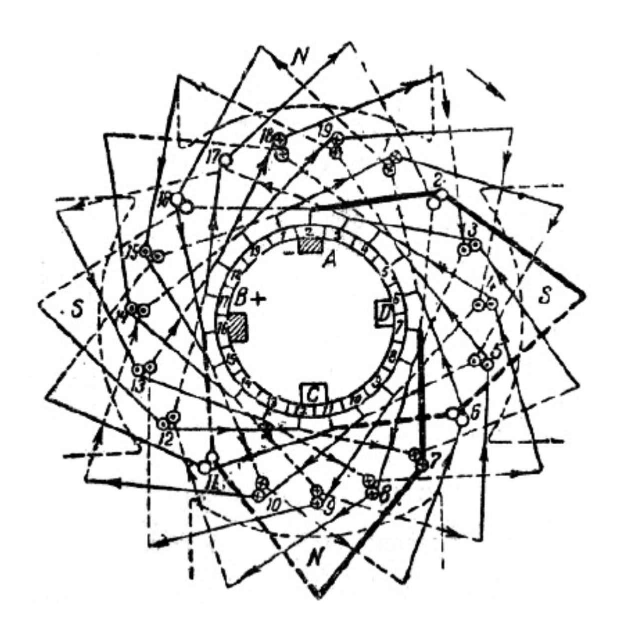
т. е. шаг по коллектору будет из 1-й пластины в 20-ю. Число параллельных ветвей волновой обмотки не зависит от числа полюсов машины, а всегда равно двум. Волновая обмотка называется также *последовательной*, а петлевая обмотка в противоположность волновой — *параллельной*. Петлевую обмотку применяют в машинах с большой силой тока, чтобы уменьшить ток в проводниках обмотки и снизить сечение этих проводников. Волновые обмотки применяются в машинах с малой силой тока и большим напряжением, которое требует большего числа проводников, соединенных между собой последовательно. На фиг. 68 изображена торцевая схема волновой обмотки четырехполюсной машины, якорь которой имеет 19 пазов и 19 коллекторных пластин. Шаг по пазам определяется по общей для всех обмоток формуле:

$$y_z = z / 2p = 19 / 4 = 4^3/_4$$

Отбрасывая дробь $^3/_4$ получаем шаг равным 4, т. е. из 1-го паза в 5-й, как это и видно на схеме. Шаг по коллектору:

$$\nu_к = (k – 1) / p = (19 – 1) / 2 = 9$$

т. е. из 1-й коллекторной пластины в 10-ю. Обмотка получается левая волновая, так как в числителе взят знак минус. Производя обход обмотки от 1-й коллекторной пластины, мы, обойдя окружность якоря, попадаем в 19-ю коллекторную пластину, лежащую слева от 1-й. При этом концы обмотки не перекрещиваются. При положении якоря, изображенном на схеме (фиг. 68), видно, что электродвижущие силы обеих половин обмотки расходятся от коллекторной пластины 2 и сходятся в коллекторной пластине 16. Если на эти коллекторные пластины поставить щетки, то по отношению к ним обе половины обмотки будут включены параллельно, т. е. обмотка будет состоять из двух параллельных ветвей. Поэтому в волновой обмотке для отвода тока достаточно двух щеток A и B, отстоящих друг от друга на одно полюсное деление. Однако на практике для уменьшения размеров щеток и коллектора устанавливают на коллекторе число щеток, равное числу полюсов машины, и соединяют их через одну в две цепи, так же как и в машинах с петлевой обмоткой. От установки двух дополнительных щеток C и D свойства обмотки не нарушаются.



Фиг. 68. Простая волновая обмотка.

52. МНОЖЕСТВЕННО-ВОЛНОВАЯ ОБМОТКА

Множественно-волновая обмотка представляет собой несколько волновых обмоток, уложенных в пазы одного якоря. Очевидно, число параллельных ветвей такой обмотки будет во столько раз больше, из скольких простых обмоток она состоит. Практически применяется двукратная волновая обмотка. Сделав полный обход якоря, мы придем в коллекторную пластину, лежащую не рядом с первой, а не доходя одной пластины до нее. Шаг по пазам этой обмотки определяется так же, как и для других обмоток. Шаг по коллектору двукратной левой волновой обмотки:

$$y_к = (k - 2) / p$$

число параллельных ветвей ее равно четырем. Множественно-волновые обмотки применяются в сочетании с петлевыми в лягушачьих обмотках (§ 55).

53. ВОЛНОВЫЕ ОБМОТКИ С МЕРТВЫМИ ПРОВОДНИКАМИ

В § 47 было сказано, что число коллекторных пластин равно числу пазов, умноженному на число секционных сторон обмотки. С другой стороны, в волновых обмотках число коллекторных пластин не может быть выражено произвольным числом. Это вытекает из формулы шага обмотки по коллектору:

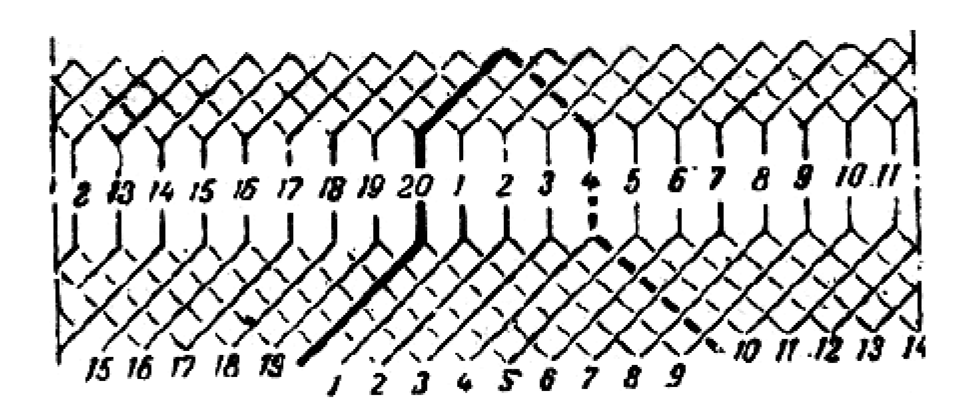
$$y_к = (k - 1) / p$$

В § 51 мы установили, что для четырехполюсной машины число коллекторных пластин обязательно должно быть нечетным, так как при четном числе коллекторных пластин шаг по коллектору не может быть выражен целым числом. Например, при $k = 20$

$$y_к = (k - 1) / p = (20 - 1) / 2 = 9^1/_2$$

что не может быть выполнено. Таким образом, в волновых обмотках число коллекторных пластин должно удовлетворять двум условиям. В практике встречаются обмотки, в которых оба условия не могут быть выполнены. Разберем такой пример. Число пазов 20, число секционных сторон 1. Число полюсов 4. Согласно первому условию число коллекторных пластин должно быть равно числу пазов, умноженному на число секционных сторон, т. е. $20 \times 1 = 20$ коллекторных пластин. Но мы только что доказали, что для четырехполюсной

машины число коллекторных пластин обязательно должно быть нечетным числом. Поэтому приходится нарушить первое условие и сделать коллектор из 19 пластин. Но тогда двум концам одной секции не хватит места на коллекторе. Поэтому у одной секции выводные концы откусывают и не присоединяют их к коллектору.

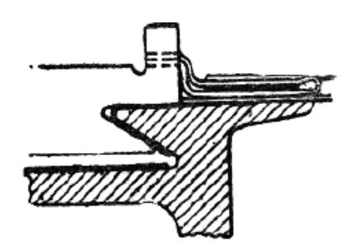


Фиг. 69. Волновая обмотка с мертвыми проводниками.

Такие секции называются мертвыми, так как хотя они и лежат в пазах, но не соединены с остальными проводниками обмотки и не участвуют в создании электродвижущей силы. На фиг. 69 показана схема такой обмотки с мертвыми проводниками, изображенными жирными линиями. Как видно на схеме, мертвые проводники занимают верхнюю половину 20-го паза (сплошная линия) и нижнюю половину 4-го паза (пунктирная линия). В петлевых обмотках, которые могут быть выполнены при любом числе коллекторных пластин, мертвых, проводников не бывает.

54. УРАВНИТЕЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В ПЕТЛЕВЫХ И МНОЖЕСТВЕННО-ПЕТЛЕВЫХ ОБМОТКАХ

В петлевых обмотках каждая параллельная ветвь обмотки расположена под парой соседних полюсов. Поэтому неравенство потоков отдельных полюсов вызывает неравенство электродвижущих сил отдельных параллельных ветвей обмотки. Это в свою очередь вызывает уравнительные тока между отдельными параллельными цепями, проходящие через щетки и шины, соединяющие щетки одинаковой полярности. Ввиду того, что сопротивление этой цепи ничтожно, даже небольшая разница электродвижущих сил вызывает сильные уравнительные токи, которые нагружают щетки и расстраивают их работу.



Фиг. 70. Уравнительные соединения со стороны коллектора.

Задачей уравнительных соединений является создать цепь для прохождения уравнительных токов, минуя щетки. Эти соединения выполняются из медных проводников, которые соединяют коллекторные пластины, лежащие под щетками одинаковой полярности. Уравнительные соединения чаще всего располагаются под лобовыми частями обмотки и закладываются до укладки секций в пазы (фиг. 70). Обычно уравнительные соединения ставятся не во все коллекторные пластины, а через одну или через две пластины. Поперечное

сечение уравнительных соединений берут равным от $^1/_5$ до $^1/_3$ сечения проводника обмотки. Шаг уравнительных соединений петлевой обмотки равен числу коллекторных пластин, разделенному на число пар полюсов машины. Поскольку шаг уравнительных соединений должен выражаться целым числом, необходимо, чтобы в машинах с уравнительными соединениями число пластин коллектора делилось без остатка на число пар полюсов. Пример. Определить шаг и число уравнительных соединений обмотки якоря шестиполюсной машины, имеющей 162 коллекторных пластины. Шаг уравнительных соединений:

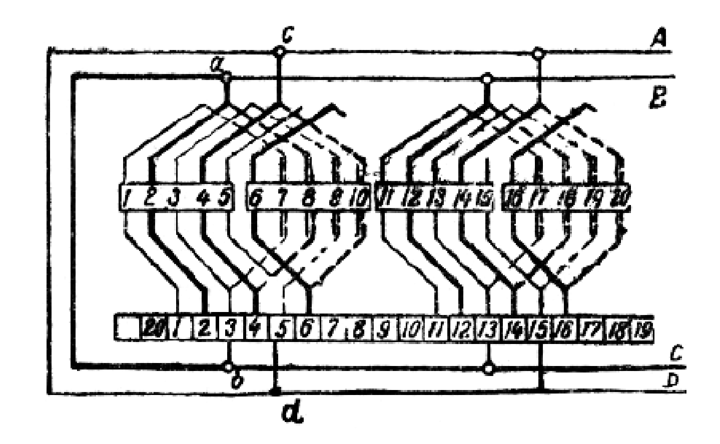
$$y_{ур} = k / p = 162 / 3 = 54$$

т. е. из 1-й коллекторной пластины в 55-ю. Число коллекторных пластин, соединяемых одним уравнительным соединением, равно числу пар полюсов, т. е. 3. Если уравнительные соединения будут поставлены через две коллекторные пластины (54 / 3), то всего на якорь потребуется 18 уравнительных соединений. Расстановка уравнительных соединений может быть выражена следующей таблицей, указывающей номера коллекторных пластин, к которым присоединяются уравнительные соединения.

1- е уравнительное соединение	1 – 55 – 109 коллект. пластина
2- е уравнительное соединение	4 – 58 – 112 коллект. пластина
3- е уравнительное соединение	7 – 61 – 115 коллект. пластина
4- е уравнительное соединение	10 – 64 – 118 коллект. пластина
5- е уравнительное соединение	13 – 67 – 121 коллект. пластина

и т. д. Волновые обмотки не требуют уравнительных соединений, так как проводники каждой параллельной цепи располагаются под всеми полюсами. Поэтому неравенство потоков отдельных полюсов машины в одинаковой степени скажется на всех параллельных цепях и электродвижущие силы в них будут равны. В множественно-петлевой обмотке, состоящей из двух простых петлевых обмоток, для устранения возможности возникновения уравнительных токов вследствие неравенства магнитных потоков каждая из петлевых обмоток должна быть выполнена с уравнительными соединениями. Уравнительные соединения для одной из обмоток выполняются со стороны коллектора, а для другой — со стороны, противоположной коллектору. Кроме того, для достижения равномерного распределения напряжения между соседними коллекторными пластинами обе петлевые обмотки должны быть связаны между собой уравнительными соединениями. Эти уравнительные соединения протягиваются с одной стороны якоря на другую. Они укладываются в промежутке между валом и пакетом якоря. На фиг. 71 изображена часть схемы множественно-петлевой обмотки с уравнительными соединениями. Данные этой обмотки: 2р = 4, z = 20, k = 20, число параллельных ветвей равно 8 и число проводников в пазу 2. На схеме проводники, принадлежащие двум петлевым обмоткам, составляющим множественно-петлевую обмотку, изображены тонкой и толстой линиями. Уравнительные соединения (на схеме линии А, В, С и D) расположены с обеих сторон якоря. Шаг этих уравнительных соединений:

$$y_{ур} = k / p = 20 / 2 = 10$$



Фиг. 71. Уравнительные соединения в множественно-петлевой обмотке.

Уравнительные соединения между обмотками обозначены линиями *ab* и *cd*, переходящими с одной стороны якоря на другую с левой стороны схемы. Из схемы видно, что уравнительное соединение *ab* соединяет середину секции, состоящей из коллекторных пластин 2 и 4 и проводников 2 и 8, с коллекторной пластиной 3, принадлежащей второй петлевой обмотке. Благодаря такому соединению напряжение между пластинами 2 и 4 делится коллекторной пластиной 3 пополам. Напряжения между коллекторными пластинами 2 и 3 и пластинами 3 и 4 равны напряжению одного проводника.

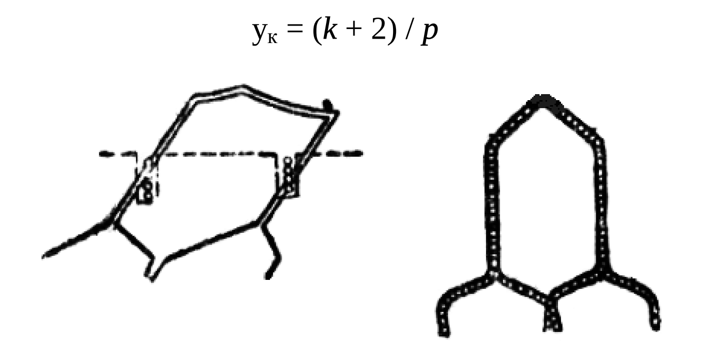
55. ЛЯГУШАЧЬЯ ОБМОТКА, ШАГИ ОБМОТКИ И ЧИСЛО ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЕТВЕЙ

Лягушачья обмотка применяется в машинах с большой силой тока и представляет собой сочетание множественно-волновой и петлевой обмоток. Обе обмотки соединены между собой параллельно, и поэтому число параллельных ветвей лягушачьей обмотки в два раза больше, чем у простой петлевой обмотки, и равно двойному числу полюсов. Другим преимуществом лягушачьей обмотки по сравнению с петлевой является то, что она не требует уравнительных соединений, так как проводники одной из обмоток одновременно служат уравнительными соединениями для другой. Лягушачья обмотка укладывается в пазы в 4 слоя, как изображено на фиг. 72. К каждой коллекторной пластине присоединяется по 4 проводника (2 проводника от петлевой обмотки и 2 проводника от волновой обмотки). Если лягушачья обмотка выполняется не ступенчатой, то шаги по пазам для секций петлевой и волновой обмоток одинаковые и обе секции изолируются общей лентой, как видно на фиг. 72. Шаг по пазам определяется так же, как для простых волновых и петлевых обмоток, т. е. приблизительно.

$$y_z = z / 2p$$

Шаг по коллектору петлевой обмотки равен 1. Шаг по коллектору волновой обмотки:

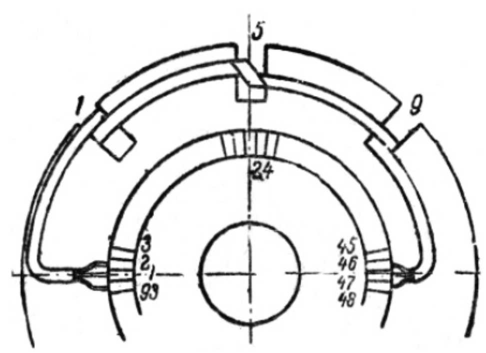
$$y_к = (k + 2) / p$$



Фиг. 72. Секция лягушачьей обметки.

56. ПРАКТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОБМОТОК

Для укладки секций в пазы якоря нет необходимости в составлении полной схемы обмотки, так как все секции вкладываются в пазы и присоединяются к коллектору совершенно симметрично. Однако при укладке в пазы и присоединении к коллектору первой секции необходимо выдержать те шаги по пазам и по коллектору, которые предписаны обмоточной запиской. Кроме того, необходимо выдержать симметрию обмотки, т. е. отсчитывать шаги обмотки по пазам и по коллектору симметрично в обе стороны от оси симметрии, которая проходит через середину секции. Из сказанного становится ясным, что практическая схема обмотки должна дать лишь точные указания по укладке в пазы и присоединению к коллектору первой секции обмотки. Если остальные секции будут вкладываться в пазы и пластины коллектора по первой секции, то обмотка будет выполнена правильно. На фиг. 73 представлена практическая схема волновой обмотки якоря, у которой шаг обмотки по пазам равен 8 (из 1-го паза в 9-й), шаг по коллектору 46 и число секционных сторон — 3. Ось симметрии проходит через 5-й паз якоря и через 24-ю пластину коллектора, как видно на схеме. Действительно, если от оси симметрии отсчитать шаги до тех пазов, в которых лежат стороны секции, то в обоих случаях получим 4. Точно так же шаг по коллектору осью симметрии делится на две равные части 1—24 и 24—47. Правила, которыми следует руководствоваться при разметке якоря под обмотку при отсутствие схемы, подробно изложены в § 63.



Фиг. 73. Практическая схема обмотки якоря.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ ТИПЫ ЯКОРНЫХ СЕКЦИЙ

57. СТЕРЖНЕВЫЕ ОДНООБОРОТНЫЕ СЕКЦИИ ИЗ ГОЛОЙ МЕДИ

Секции обмотки якоря машин постоянного тока разделяются на стержневые и проволочные.

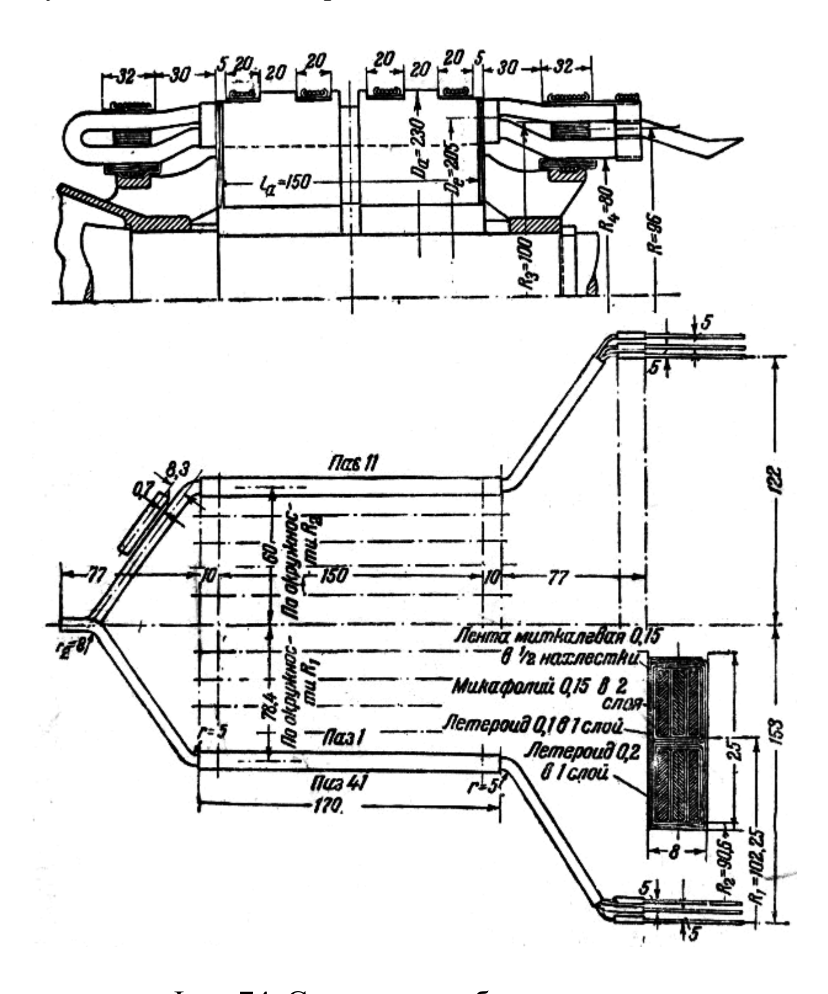
Стержневые секции изготовляются из голой меди прямоугольного поперечного сечения, а прополочные секции—из изолированной медной проволоки круглого или прямоугольного сечения. Стержневые секции применяются в крупных машинах с большой силой тока в каждой параллельной ветви. Поэтому для этих секций применяется обмоточная медь большого сечения в виде стержней, откуда секции и получили свое название. Стержневые секции делаются всегда однооборотными. Поэтому развернутая длина одного витка секции относительно невелика. При загибке толстых стержней приходится прикладывать значительные усилия. Если бы для изготовления секций применялась медь с оплеткой (ПБО или ПБД), то эта оплетка в процессе загибки секций была бы нарушена и не могла бы служить изоляцией между соседними проводниками. Кроме того, стержневую медь перед загибкой отжигают для придания ей большей мягкости. Вот почему загибку стержневых секций производят не из изолированной, а из голой обмоточной меди, которая изолируется на электромашиностроительном заводе после того, как проводникам секции уже придана требуемая форма. На фиг. 74 изображена стержневая секция волновой обмотки якоря, имеющая 3 секционные стороны. Прямолинейные стороны секции, вкладываемые в пазы, называются пазовыми частями секции, изогнутые участки — лобовыми частями, а петля,

образующая переход от верхней половины к нижней, носит название головки секции.

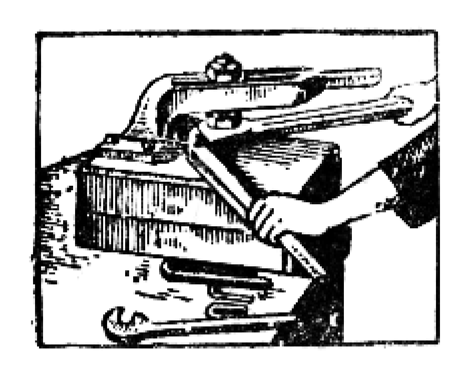
Изготовление стержневой секции производится в несколько операций. Сначала отрубают от бухты меди куски, равные развернутой длине секции, с припуском 10—20 мм. Если обмоточная медь недостаточно мягкая, то ее отжигают или в бухтах или в виде нарубленных из бухты кусков в зависимости от формы и размеров отжигательной печи. Затем нарубленные куски выправляют на плите ударами молотка до тех пор, пока стержни не получат строго прямолинейную форму. Эта операция называется рихтовкой стержней. После этого концы стержней облуживают свинцово-оловянным припоем. Гибка стержней состоит из следующих операций:

1) загибка головки — фиг. 75;
2) отгиб лобовой части — фиг. 76;
3) отгиб пазовой части — фиг. 77;
4) отгиб второй стороны секции — фиг. 78;
5) отгиб лобовых частей со стороны коллектора — фиг. 79;
6) отгиб концов.

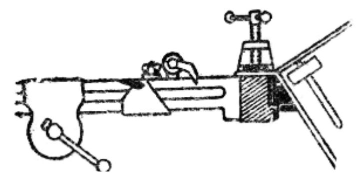
Аналогичным образом производится выгибка других проводников стержневой секции, число которых равно числу ее секционных сторон.



Фиг. 74. Стержневая обмотка якоря.



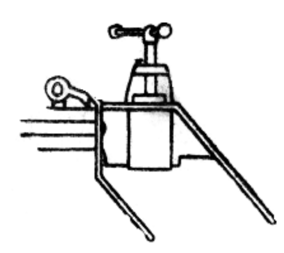
Фиг. 75. Загибка головки секции.



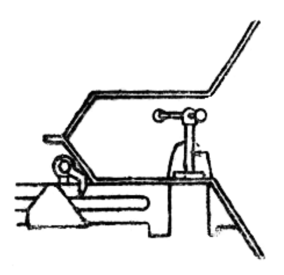
Фиг. 76. Отгиб лобовой части.



Фиг. 77. Отгиб пазовой части.



Фиг. 78. Отгиб второй стороны секции.



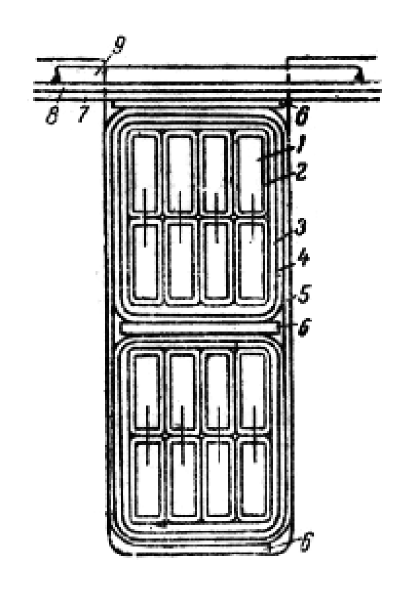
Фиг. 79. Отгиб лобовых частей со стороны коллектора,

После окончательной выгибки производится зачистка забоин и заусенцев, которые могли получиться в процессе выгибки секции, и проводники секции поступают в изолировку. Изолировка пазовых и лобовых частей секции производится вручную бумажно-слюдяной лентой толщиной 0,1 мм. Головки, перегибы и концы секции изолируются шелкослюдяной лентой толщиной 0,15 мм. Оплетка проводника лентой производится вполуперекрышку, и

концы ленты приклеиваются шеллачным или глифталевым лаком. При оплетке проводников надо наматывать ленту туго и избегать образования складок и воздушных мешков. Затем все проводники секции складывают друг с другом, пазовые части обжимают в деревянных тисках, чтобы они склеились и плотно прилегали один к другому без просветов. После этого производится изолировка всей секции бумажно-слюдяной лентой вполуперекрышку. Пазовые части секции оплетаются лентой в несколько слоев в зависимости от напряжения машины, а лобовые части — один раз вполуперекрышку. Иногда пазовые части секции изолируются не лентой, а широкой простынкой из изоляционного материала, как было описано в гл. 3. Затем пазовые части снова впрессовываются, чтобы удалить воздушные прослойки между слоями изоляции и добиться склеивания этих слоев. Опрессовка секции производится в металлических прессформах с паровым или электрическим подогревом для размягчения склеивающих лаков. Перед выемкой секции пресс-форму охлаждают при помощи струи воздуха или воды, протекающей через трубки, проложенные в корпусе пресса. Охлаждение производится для того, чтобы склеивающие лаки затвердели и секция, вынутая из пресс-формы, сохраняла свою форму и размеры поперечного сечения. После опрессовки секция по всему контуру оплетается хлопчатобумажной или асбестовой лентой, назначение которой состоит в том, чтобы предохранить бумажно-слюдяную изоляцию секции от разрушения при вкладывании ее в пазы якоря.

58. НЕРАЗРЕЗНЫЕ СЕКЦИИ ИЗ РАЗДЕЛЕННОГО ПРОВОДНИКА

В стержнях большого поперечного сечения образуются дополнительные потери энергии, вызывающие излишнее нагревание проводников обмотки. Для уменьшения этих потерь стержень обмотки разделяют по высоте на два изолированных один от другого проводника. На фиг. 80 изображено поперечное сечение секций из разделенного проводника, вложенных в паз якоря. Два разделенных проводника, соединенных па чертеже черточками, присоединяются к одной и той же коллекторной пластине. Разделенные проводники применяют в тех случаях, когда высота целого стержня превышает 10—12 мм. Например, вместо стержня высотой 12 мм берут два стержня той же толщины, но высотой по 6 мм. Составные стержни должны быть изолированы один от другого по всей длине секции, за исключением концов, присоединяемых к коллекторным пластинам. Изолировка составных проводников производится той же лентой, что и сплошного проводника. Гибка секции, состоящей из разделенных проводников, производится совместно, причем в головке секции наружный проводник загибается вокруг внутреннего. Однако между ними должна быть проложена прокладка, толщина которой равна двойной толщине изоляции проводника. Если бы гибка производилась без этих прокладок, то после изолировки проводников головка внутреннего проводника не могла бы поместиться в головке наружного проводника. Таким образом, гибка стержневых секций с разделенным проводником требует большей тщательности, чем гибка секций из сплошных цельных стержней.



Фиг. 80. Разрез секции из раздельного проводника.
1— медный проводник; 2— изоляции проводника—бумажно-слюдяная лента;
3—изоляция пазовой части секции—бумажно-слюдяная лента;
4—общая изоляция секция—асбестовая лента; 5— изоляция паза—прессшпан;
6—прокладка—прессшпан; 7—изоляция под бандажом—миканит;
8— изоляция под бандажом—прессшпан; 9—бандаж из стальной проволоки.

То же относится и к изолировке таких секций, так как вследствие разделения стержня число их удваивается, а вместе с этим удваивается и количество оборотов изоляционной ленты, которой надо оплетать проводники секции. Несмотря на это, большинство машин со стержневыми секциями выполняется с разделенным проводником, так как это уменьшает потери энергии в проводниках, и машина может давать больше полезной мощности. Следует отметить, что расход изоляционной ленты при разделенном проводнике увеличивается не вдвое, а всего на 20—25%, так как при уменьшении площади сечения проводника уменьшается и периметр его, т. е. длина одного витка изоляционной ленты.

59. РАЗРЕЗНЫЕ СЕКЦИИ ИЗ СПЛОШНОГО И ТРАНСПОНИРОВАННОГО ПРОВОДНИКА

Описанные выше секции, в которых путь тока от одной коллекторной пластины до другой совершается по непрерывному медному проводнику, называются *неразрезными*. Наряду с неразрезными секциями в практике встречаются обмотки, у которых секция состоит из двух самостоятельных частей, которые носят название полусекций и опаиваются между собой скобочкой на противоположной коллектору стороне якоря. Такие секции называются разрезными. Мы с ними уже встречались в роторах со стержневой обмоткой (см. § 18). Гибка и изолировка полусекций разрезной обмотки производится аналогично секциям неразрезной обмотки. На этих операциях получается экономия времени, так как, несмотря на то, что число полусекций вдвое больше, чем число неразрезных секций, но зато гибка и изолировка их производятся значительно проще, удобнее и требуют меньшей опытности от обмотчика и изолировщика. Зато при разрезных обмотках появляются новые операции при укладке их в пазы якоря. Эти операции состоят в спайке полусекций и изолировке мест пайки.

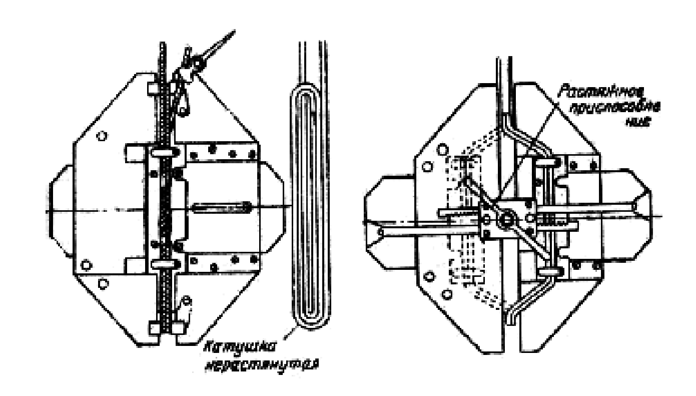


Фиг. 81. Проводник секции с транспозицией.

Обычно стержневые разрезные обмотки применяются только в тех случаях, когда в пазу якоря помещается небольшое число стержней не более 6), так как при большом числе стержней пайка и изолировка соединений становятся очень трудными. Очевидно, что разрезные секции нельзя делать с разделенным по высоте проводником, так как в местах спайки оба проводника будут соединены между собой и благодаря этому разделение проводника, во избежание уменьшения вредных токов внутри проводника, теряет свой смысл. Поэтому при разрезных секциях для уменьшения вредных токов внутри стержней обмотки применяют другой способ, который получил название транспозиция. Способ транспозиции заключается в том, что каждый проводник секции перегибается таким образом, что верхние и нижние слои проводника меняются местами. Благодаря этому электродвижущие силы в отдельных слоях уравниваются, и вредные токи, вызывающие нагревание проводника, исчезают. На фиг. 81 изображен проводник секции с транспозицией. Такой проводник штампуется из листовой меди. При штамповке делается два надреза, благодаря чему проводник разделен по высоте, паза на три элементарных проводника, соединенных между собой только по концам. Затем проводник перегибается по линии АБ.
В местах перегиба получается двойная толщина проводника. Перегибы отдельных проводников смещаются по длине паза, чтобы не получалось чрезмерного утолщения секции в одном месте. Каждый проводник изолируется миканитовой лентой, после чего они складываются в пакет, изолируются общей лентой и вкладываются в пазы якоря.

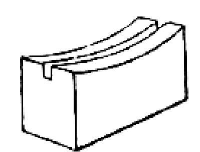
60. ПРОВОЛОЧНЫЕ МНОГООБОРОТНЫЕ СЕКЦИИ ИЗ ИЗОЛИРОВАННОЙ МЕДИ КРУГЛОГО И ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

Секции обмотки якоря разделяются на однооборотные и многооборотные. Как было сказано выше, стержневые секции из голой меди делаются только однооборотными. Наоборот, многооборотные секции выполняются всегда из изолированного проводника. В малых и высоковольтных машинах проволочные многооборотные секции делаются из проводника марки ПШД (с двумя слоями шелковой обмотки) или ПЭЛШО (эмалированный проводник с одним слоем шелковой обмотки) потому, что в этих машинах в пазах лежит много проводников тонкого сечения и для экономии места в пазах приходится выбирать обмоточную медь с тонкой изоляцией. В более крупных машинах секции выполняются из обмоточного провода марки ПБД (с двумя слоями хлопчатобумажной обмотки). Изготовление проволочных секций коренным образом отличается от изготовления стержневых секций. Как мы видели ранее, стержневые секции выгибаются на специальных приспособлениях, и работа эта может быть отнесена к категории слесарных работ. Прополочным секциям форма придается путем намотки провода на шаблон, и работа производится намотчиком на специальных намоточных станках. На фиг. 82 изображен шаблон для намотки проволочной секции якоря. При намотке секции число поворотов шаблона определяет число оборотов с секции. Намотка секции производится одновременно несколькими проводниками, которые сматываются с различных бухт обмоточной меди. Если секция не имеет параллельных проводников, то число бухт должно быть равно числу секционных сторон. При двух параллельных проводниках, в секции число бухт в два раза больше, чем число секционных сторон. Как было сказано ранее, секционные стороны располагаются по ширине паза якоря, а обороты секции — по высоте паза. Поэтому по чертежу разреза паза можно судить о том, какими секциями выполнена данная обмотка (фиг. 62).



Фиг. 82. Шаблон для намотки и растяжки проволочных секций.

Процесс изготовления проволочной секции состоит в следующем. Намотчик устанавливает требуемое число бухт с обмоточной медью у намоточного станка и закрепляет концы проводов на шаблоне. Затем намоточный станок пускается в ход и шаблон медленно вращается. На углах шаблона намотчик подколачивает секцию, следя за тем, чтобы проводники укладывались правильными рядами, не перехлестываясь, и плотно прилегали к сердечнику шаблона. Когда шаблон сделал требуемое число поворотов, намотанная секция скрепляется жестяными скобочками в 4-х местах, концы проводников отрезаются от бухт, шаблон раскрывается и секция снимается с сердечника шаблона. Снятая с шаблона секция имеет плоскую форму, между тем как на якоре она должна лежать в разных плоскостях: одна сторона секции — на дне паза, а другая—вверху паза; кроме того, сама поверхность якоря— не плоская, а цилиндрическая, и потому лобовые части должны иметь форму винтовой линии. После намотки секция подвергается растяжке, причем верхняя и нижняя стороны секции, которые до этого лежали одна над - другой, раздвигаются в противоположные стороны на расстояние, равное шагу секции по пазам. Растяжка производится на специальных станках или сразу после намотки на намоточном шаблоне, устройство которого показано на фиг. 82. При этом лобовые части и головки секции принимают свою форму, но лобовые части еще остаются прямолинейными, а стороны секций лежат в параллельных плоскостях.



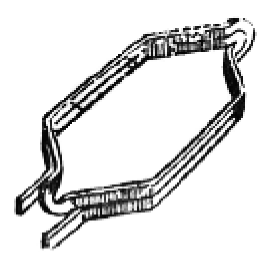
Фиг.83. Шаблон для выгибания лобовых частей.

Между тем, на якоре стороны секций должны быть расположены под углом, равным центральному углу между теми пазами якоря, в которые будут закладываться верхняя и нижняя стороны секции. Это угловое смещение сторон секций достигается следующей операцией, состоящей в выгибании лобовых частей секции по форме винтовой линии. Эта операция производится в специальных шаблонах (фиг. 83). Выпуклая сторона лобовой части закладывается в прорез шаблона, а на вогнутую часть производится давление второй половины шаблона при помощи ударов молотка. На этом заканчивается процесс придания секции требуемой формы, и она поступает в изолировку. В отличие от стержневых секций проволочная секция имеет междувитковую изоляцию, состоящую из обмотки провода пряжей. Поэтому при изолировке секции устраняются лишь повреждения витковой изоляции путем заклеивания оголенных мест заплатками из полотняной ленты и усиления изоляции головок секции путем оплетения проводников в головках лентой. Затем приступают к наружной изоляции самой секции. Поскольку секция выполнена из проводника с хлопчатобумажной обмоткой, которая после пропитки относится к изоляции класса А, нет необходимости наружную изоляцию выполнять из теплостойких изоляционных материалов класса В. Поэтому для наружной изоляции секции вместо бумажно-слюдяной ленты

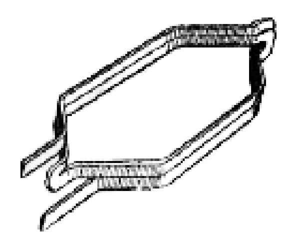
применяется лента из лакоткани, которая на пазовые части наматывается в несколько слоев в зависимости от напряжения машины. После этого секция по всему контуру обматывается полотняной лентой вполуперекрышку, пропитывается в асфальтовых лаках, просушивается и направляется на укладку в пазы якоря.

61. СЕКЦИИ ИЗ ПРОВОДНИКА ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ С ДВОЙНЫМИ ГОЛОВКАМИ СО СТОРОНЫ ПРИВОДА

При намотке секции, имеющей несколько оборотов, выводные концы обеих сторон секции располагаются ниже лобовых частей секции со стороны коллектора (фиг. 84). Для нижней стороны секции, которая укладывается на дно паза, такое расположение выводных концов является естественным, так как они подходят к пластинам коллектора, не пересекаясь с лобовыми частями. Что же касается выводных концов верхней стороны секции, то их приходится выгибать между лобовыми частями обмотки, чтобы уложить их в верхнем слое в пластины коллектора. Для секций, намотанных из круглой проволоки, такая выгибка концов не представляет больших трудностей, но в секциях, намотанных из проводников прямоугольного сечения, в местах перегибов часто наблюдаются междувитковые замыкания, так как проводник своим ребром легко может продавить изоляцию лежащих под ним лобовых частей обмотки. Для избегания этого были введены секции с двойной головкой в лобовых частях со стороны якоря, противоположной коллектору. Двухоборотная секция с двойной головкой изображена на фиг. 85. Отличительной особенностью ее является то, что при намотке секции головки в лобовой части не ложатся одна над другой, а раздваиваются в горизонтальной плоскости. Благодаря этому выводные концы верхней стороны секции не попадают под лобовые части, а располагаются над ними.



Фиг. 84. Двухоборотная секция с ординарной головкой.



Фиг. 85. Двухооборотная секция с двойной головкой.

Для намотки секций с двойной головкой применяются специальные намоточные шаблоны, имеющие два ручья, в которые и расходятся две пряди проводников при образовании головки. Если секция имеет не два, а несколько оборотов, то все витки головки наматываются друг на друга, кроме последнего витка, который образует двойную головку. В этом случае половины головки получаются несимметричными. Например, в четырехоборотной секции одна половина головки со стороны привода состоит из трех проводников, а вторая половина — из одного проводника. При изолировке секции обе половины раздвоенной головки изолируются общей лентой, поэтому изолированную секцию

с двойной головкой можно отличить от обычной только по расположению выводных концов и по утолщенной головке в лобовых частях со стороны привода. При секциях с двойной головкой укладка верхнего и нижнего слоя концов в пластины коллектора получается очень удобной, так как они не перегибаются вокруг лобовых частей обмотки. Хотя секции с двойной головкой несколько сложнее в намотке и в изолировке, но вследствие того, что укладка концов обмотки значительно облегчается и устраняется возможность межвитковых замыканий, они имеют очень широкое применение для обмоток с многооборотными секциями из прямоугольного проводника. Преимущество прямоугольных проводников по сравнению с круглыми состоит в том, что они лучше заполняют паз прямоугольной формы с меньшими просветами между проводниками.

62. ВИДЫ УРАВНИТЕЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В четырехполюсных машинах каждое уравнительное соединение должно замыкать две противоположные точки обмотки, отстоящие одна от другой на двойное полюсное деление. Такие уравнительные соединения выполняются в виде вилок и припаиваются или к хомутикам секций или непосредственно к пластинам коллектора (фиг. 70). При большем числе полюсов каждое уравнительное соединение должно состоять из нескольких вилок, число которых равно половинному числу полюсов. Для облегчения выполнения уравнительных соединений в многополюсных машинах их делают в виде колец с соответствующим количеством отпаек, присоединяемых к обмотке якоря. Если обмотка не разрезная, то для присоединения уравнительных соединений зачищается изоляция в головках секций, и к этим местам припаиваются пластинки от уравнительного соединения. Такие уравнительные соединения получили название кольцевых. Уравнительные соединения выполняются из обмоточной меди и изолируются так же, как и секции обмотки. О числе и поперечном сечении уравнительных соединении было сказано ранее в § 54.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ ОБМОТКА И ОТДЕЛКА ЯКОРЕЙ

63. РАЗМЕТКА ЯКОРЯ ПОД ОБМОТКУ

Процесс укладки секций в пазы и присоединение концов секций к коллекторным пластинам называется обмоткой якоря (сокращенное слово обматывание). Прежде чем приступить к укладке секций, необходимо ознакомиться со схемой якорной обмотки, для того, чтобы правильно уложить секции в пазы и присоединить концы секций к коллектору. Как было сказано выше, это обозначается на практической схеме обмотки. Обычно обмотчик получает якорь, уже размеченный под укладку секций. Разметкой якоря под обмотку называется нанесение схемы обмотки на якорь в виде условных знаков. Разметка якоря обычно выделяется в самостоятельную операцию и поручается наиболее опытным обмотчикам. Особенно важное значение разметка якоря имеет в машинах, у которых траверза щеткодержателей неповоротная и неточность разметки нельзя компенсировать смещением щеток на коллекторе. Отсчет пазов и коллекторных пластин при разметке якоря производится от оси симметрии обмотки, которая отмечается на якоре и на коллекторе. Положение оси симметрии на якоре зависит от шага обмотки по пазам. Если шаг выражается нечетным числом, например 9 (стороны секций кладутся в 1-й и 10-й пазы), то ось симметрии на якоре проходит через середину зубца. Если же шаг обмотки по пазам выражается четным числом, например 10 (стороны секции кладутся в 1-й и в 11-й пазы), то ось симметрии проходит через середину паза. Положение оси симметрии на коллекторе определяется шагом обмотки по коллектору. При нечетном шаге, например 37 (секция соединяет 1-ю коллекторную пластину с 38-й), ось симметрии на коллекторе проходит через межламельную изоляцию. При четном шаге обмотки по коллектору ось симметрии проходит через середину коллекторной пластины. Таким образом, зная шаг обмотки по пазам и по коллектору, легко определить положение оси симметрии. Например, шаг обмотки по пазам

8, а шаг обмотки по коллектору 46; оба шага — четные (фиг. 73). Следовательно, ось симметрии на якоре проходит через середину паза, а на коллекторе — через коллекторную пластину. Остается найти на якоре такой паз, который совпадает с коллекторной пластиной. Простейшим приспособлением для нахождения оси симметрии служит нитка, которую обмотчик натягивает вдоль якоря; прикладывая ее поочередно к серединам пазов, он смотрит, какой из них совпадает наиболее точно с серединой какой-либо из коллекторных пластин. Отметив данный паз и совпадающую с ним коллекторную пластину, обмотчик отсчитывает вправо и влево от них половину шага по пазам и шага по коллектору и находит 1-й и 9-й пазы, 1-ю и 47-ю коллекторные пластины, в которые и закладывается своими сторонами и концами первая секция. Эти пазы отмечаются крестообразными зарубками на соседних зубцах, а коллекторные пластины накерниваются точками на торцевой стороне кол лектора. Теперь надо определить, какие именно концы секции должны быть вложены в отмеченные коллекторные пластины. Если число секционных сторон нечетное (на фиг. 73 их 3), то в отмеченные коллекторные пластины для обеспечения симметрии должны быть вложены средние концы. Если бы число концов было четное, то в отмеченные коллекторные пластины должны бы вкладываться концы, лежащие слева от середины. Как уже говорилось ранее, в волновых обмотках часто встречаются мертвые проводники, т. е. такие проводники, которые находятся в пазах, но не соединяются с коллектором. При наличии в обмотке мертвых проводников в отмеченные коллекторные пластины вкладываются концы проводников, расположенные справа от середины. Этим корректируется та несимметрия, которая вносится в обмотку мертвыми проводниками, располагаемыми всегда в последнем пазе якоря. Для избежания ошибки при закладке концов обмотки в пластины коллектора и для облегчения работы обмотчика часто отмечаются кернами не только те пластины, в которые вкладываются средние проводники первой секции, а все коллекторные пластины, занимаемые выводными концами первой секции. Например, если секция имеет 3 секционных стороны (фиг. 73), то обозначаются кернами следующие номера коллекторных пластин: 93, 1 и 2 на одной стороне коллектора и 46, 47 и 48 пластины на другой стороне коллектора.

64. УКЛАДКА СЕКЦИЙ В ПАЗЫ

Перед укладкой секций в пазы якорь подвергается подготовительным операциям, состоящим в обработке пазов, пропитке сердечника якоря, изолировке обмоткодержателей и пазов, которые подробно описаны в гл. II. После того, как все подготовительные операции закончены и произведена разметка якоря под обмотку, обмотчик приступает к укладке секций в пазы якоря. Боковые стороны пазовых частей секции предварительно натираются парафином, для того, чтобы уменьшить трение и усилия, с которыми секции загоняются в пазы, и тем самым предохранить изоляцию секций от разрушения при укладке в пазы. Процесс укладки секций в пазы производится в такой последовательности: обмотчик берет первую секцию, вкладывает ее нижнюю сторону в 9-й паз (фиг. 73) и ударами молотка по фибровой прокладке загоняет ее на дно паза. Верхняя сторона секции остается не вложенной в 1-й паз, так как нижняя половина паза еще не заполнена. При укладке секции необходимо следить за тем, чтобы, расстояние между торцами якоря и перегибами секции в местах перехода пазовых частей в лобовые было одинаковое с обеих сторон якоря. Секция должна «ходить в паз туго, так как иначе в процессе работы машины изоляция секции будет разрушаться вследствие перемещения секции в пазу. Однако слишком тугое вхождение секции в паз может вызвать разрушение изоляции в процессе укладки в пазы. Опытный обмотчик определяет правильное соотношение между шириной паза и толщиной секции по силе удара, требуемого для забивания секций в пазы, и регулирует его подбором толщины пазовой гильзы. После того, как первая секция уложена на дно 9-го паза, обмотчик берет вторую секцию и загоняет ее нижнюю сторону на дно 10-го паза. Аналогичным образом укладываются нижние стороны остальных 7 секций, составляющих шаг по пазам, в пазы 11, 12, 13, 14, 15, 16 и 17-й. Одновременно с укладкой секций вставляются полоски из

изоляционного материала, указанного в чертеже между слоями лобовых частей, для предохранения от замыкания между ними под действием натяжения прополочных бандажей. Верхняя сторона 9-й секции, вложенной в 17-й паз, согласно шагу обмотки по пазам должна быть вложена в 9-й паз (9 + 8 = 17), нижняя половина которого уже заполнена 1-й секцией. Поэтому 9-я секция может быть теперь вложена в пазы окончательно обеими сторонами. Для этого обмотчик вводит в 9-й паз фибровую пластину и натягивает ею, как рычагом, верхнюю сторону 9-й секции и затем ударами рукоятки молотка осаживает верхнюю сторону 9-й секции в 9-й паз. На этом заканчивается часть работы, которая называется укладкой шага обмотки, т. е. укладка числа секций, равного числу пазов, охватываемых секцией. При укладке шага обмотки проверяется правильность размеров секций в отношении укладки лобовых частей. Если верхняя сторона секции слишком трудно натягивается в 9-й паз и при этом выступающие из паза прямолинейные вылеты пазовых частей перегибаются, то секции отправляются в перегибку. Обычно для каждого нового якоря сначала изготовляют пробные секции в количестве, равном шагу обмотки по пазам, и, только после укладки их в пазы продолжают изготовлять остальные секции или производят необходимые переделки шаблона.

65. ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ УКЛАДКИ СЕКЦИЙ, ОСАЖИВАНИЕ И ПОДГИБАНИЕ ЛОБОВЫХ ЧАСТЕЙ

При укладке секций в пазы обмотчик пользуется следующими инструментами:

1) молоток-ручник;
2) фибровая планка для забивания секций в паз;
3) фибровая подбойка для осаживания лобовых частей;
4) нож для обрезания выступающих частей пазовой изоляции.

Молоток-ручник используется для ударов по фибровой планке для осаживания секций на дно паза. Кроме того, торцом деревянной рукоятки обмотчик загоняет в паз верхние стороны секций, оттягивая их фибровой планкой. Фибровая планка подбирается для каждого якоря. Толщина ее должна соответствовать толщине секции, а длина равна длине пазовой части секции. Фибровая подбойка представляет собой планку толщиной 4—5 мм, которую обмотчик накладывает на лобовые части секций и ударами молотка по подбойке выравнивает их. Этой же подбойкой обмотчик пользуется для подгибания лобовых частей, приставляя ее к боковым сторонам лобовых частей секций и ударяя по ней молотком.

В процессе укладки секций лобовые части их должны плотно подгибаться одна к другой, чтобы обеспечить место для лобовых частей последних секций. После того, как все секции вложены в пазы, обмотчик при помощи подбойки и молотка распределяет лобовые части по окружности якоря так, чтобы зазоры между ними были одинаковые. Неравномерная плотность укладки лобовых частей поведет к тому, что одна половина окружности якоря, где лобовые части лежат более плотно, будет тяжелее другой, и такой якорь будет трудно сбалансировать.



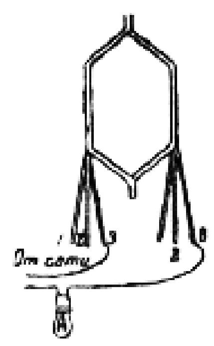
Фиг. 86. Нож для обрезки выступающей из паза изоляции.

В процессе обмотки якоря такие тонкие изделия, как изолированные секции, приходится подвергать довольно большим усилиям и ударам. Искусство обмотчика заключается в том, чтобы соразмерить силу и количество ударов с прочностью изоляций секций, что достигается только навыком. У опытного обмотчика обмотка получается хорошей, хотя он прибегает к сильным ударам молотка, и, наоборот, начинающий обмотчик боится применения сильных ударов и старается обращаться с секциями более осторожно, но портит их изоляцию вследствие слишком большого количества ударов, неправильной установки подбойки и многократного перегибания секции. Нож для обрезки выступающих из паза

кромок пазовой изоляции представляет собой стальную пластинку с режущими кромками в виде внутреннего угла (фиг. 86). Проводя его вдоль паза, обмотчик одним движением срезает кромку пазовой гильзы заподлицо с поверхностью якоря.

66. НАХОЖДЕНИЕ КОНЦОВ СЕКЦИЙ, ЗАКЛАДЫВАЕМЫХ В ПЕТУШКИ КОЛЛЕКТОРА, ПРИ ПОМОЩИ ЛАМПЫ

Одновременно с укладкой секций в пазы якоря производится вкладывание нижнего слоя выводных концов секций в петушки коллекторных пластин. При этом выводные концы переплетаются изоляционной лентой (фиг. 21). Выводные концы первой секции вкладываются в петушки коллекторных пластин, отмеченных кернером при разметке якоря под обмотку. Следующие выводные концы вкладываются подряд. Необходимо лишь следить за тем, чтобы выводные концы не перехлестывались, а присоединялись к коллекторным пластинам в той же последовательности, в какой они выходят из пазов якоря. Если секция имеет много выводных концов и намотана из тонкой проволоки, то на выводные концы обеих сторон секций надеваются при намотке секции разноцветные чулки. Тогда последовательность закладывания выводных концов в петушки коллектора определяется чередованием цветов. При вкладывании верхнего слоя выводных концов чередование цветов должно быть в точно такой же последовательности. Необходимо обратить внимание на то, что если будет перепутана последовательность вкладывания нижнего слоя выводных концов, т. е. часть проводников будет перехлеснута, то это повлечет за собой лишь незначительную несимметрию электродвижущих сил между коллекторными пластинами, при условии, что верхний слой будет вложен в такой же последовательности, как и нижний. Если же последовательность верхнего слоя не соответствует последовательности нижнего слоя, то такая обмотка является полным браком. Поэтому при вкладывании верхнего слоя выводных концов секций в петушки коллектора обмотчик обязательно должен проверять контрольной лампой соответствие вкладываемого проводника с нижним, согласно шагу обмотки. Эта проверка производится следующим образом (фиг. 73). Предположим, что все секции уложены в пазы, а нижний слой выводных концов вложен в петушки. Обмотчик приступает к закладыванию в петушки верхнего слоя выводных концов, начиная с 1-го стаза. Для проверки надо приложить один проводник контрольной лампы к 48-й коллекторной пластине, отсчитать от нее 48 пластин в соответствии с шагом обмотки по коллектору и прикоснуться вторым проводником, подведенным от сети (фиг. 87) поочередно ко всем трем выводным концам секции, выходящим из 1-го паза.



Фнг.87. Проверка концов секций на лампу.

Очевидно, что контрольная лампа зажжется только при соединении с одним выводным концом секции, так как он один является соединенным с 48-й коллекторной пластиной через виток обмотки. Найденный таким образом выводной конец надо вложить в коллекторную пластину. № 2. Затем обмотчик переставляет первый проводник контрольной лампы с 48-й на 47-ю коллекторную пластину, а вторым проводником ищет из оставшихся двух выводных концов секции, выходящих из 1-го паза, такой, при котором лампа зажжется. Этот выводной

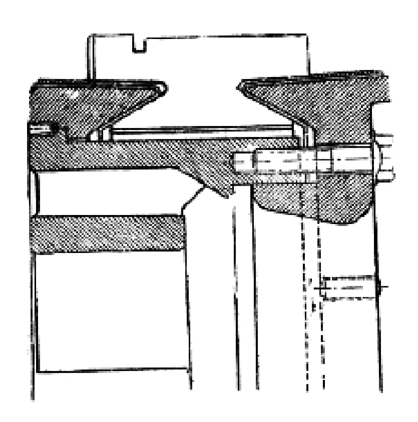
конец надо вложить в петушок коллекторной пластины № 1. Остальные выводные концы находятся и вкладываются таким же образом. Если искомый выводной конец находится первым, т. е. контрольная лампа зажигается при соединении проводника от сети с первым же, наугад выбранным, выводным концом секции, то все же для большей уверенности рекомендуется коснуться и остальных выводных концов и убедиться, что лампа при этом не зажигается. Эта дополнительная проверка необходима для избегания следующих ошибок. Допустим, что проводник от контрольной лампы сдвинулся и замыкается не с одной, а с двумя соседними пластинами, например, с 47-й и с 48-й. Тогда при нахождении первого выводного конца для укладки во 2-ю коллекторную пластину обмотчик может принять за нужный ему выводной конец соседний с ним, так как контрольная лампа будет гореть при соединении с обоими выводными концами. Отсюда следует сделать вывод, что проверка выводных концов верхнего слоя при соединении их с коллектором должна быть выполнена особенно тщательно. Ошибка в порядке укладки проводников потребует больше времени для ее отыскания и исправления, чем своевременная проверка концов контрольной лампой. Совершенно очевидно, что если при укладке первого проводника верхнего слоя обмотчик ошибется в шаге по коллектору, то ошибка будет замечена только по окончании обмотки и все выводные концы придется переставлять. Если же это обнаружится после того, как припуск выводных концов секций будет уже обрезан и для перестановки концов не хватит их длины, то все секции обмотки и вся работа по их укладке в пазы пойдет в брак. Вот почему опытный обмотчик всегда тщательно проверяет укладку первых выводных концов в коллекторные пластины. У учеников проверку укладки первых концов делает мастер или бригадир.

67. ОСОБЕННОСТИ УКЛАДКИ В ПАЗЫ СЕКЦИЙ ОБМОТКИ СО СТУПЕНЧАТЫМ ШАГОМ

До сих пор мы рассматривали укладку в пазы секций обмотки, у которой шаг по пазам для всех секций постоянный. В практике встречаются так называемые ступенчатые обмотки, у которых шаги по пазам разные и отличаются один от другого на единицу. Например, если секция имеет 4 секционных стороны, то нижние секционные стороны вкладываются в 1-й паз, а верхние секционные стороны разветвляются и две из них идут в 9-й паз, а две другие — в 10-й паз (фиг. 63). Обыкновенно ступенчатые обмотки выполняются из однооборотных секций. Ступенчатые обмотки могут быть выполнены как с разрезными, так и неразрезными секциями. Секция ступенчатой обмотки состоит из двух полусекций, выполненных с разными шагами по пазам и сложенных вместе нижними сторонами. Для удобства закладывания секций в пазы нижние стороны секций изолируются общей лентой, верхние же стороны изолированы раздельно, так как они не лежат одна над другой, а сдвинуты на одно зубцовое деление. У не ступенчатых обмоток паз заполняется в два приема, т. е. сначала вкладывается нижняя сторона секции, а после укладки первого шага начинают вкладываться верхние стороны секций. У ступенчатых обмоток заполнение паза производится в 3 приема, а обмотка в пазу располагается в 4 слоя. Сначала нижние стороны секций, связанные общей лентой, заполняют первый и второй слой паза, затем полусекции с меньшим шагом заполняют третий слой паза и, наконец, полусекции с большим шагом по пазам занимают четвертый слой паза. Приемы работы при укладке в пазы — те же самые, что и для не ступенчатых обмоток, но работа по обмотке этих якорей требует большей опытности и уменья от обмотчика, так как каждая секция вкладывается в три паза и выравнивание лобовых частей обмотки, а тем более укладка в петушки коллектора выводных концов секций, которые также располагаются в 4 слоя, становится более сложной. В качестве примера ступенчатой обмотки можно привести лягушачьи обмотки, у которых обычно шаг по пазам петлевой обмотки на единицу меньше, чем шаг по пазам волновой обмотки. Секции петлевой обмотки вкладываются в секции волновой обмотки. Поэтому петлевая обмотка занимает в пазах и в петушках коллектора второй и третий слой, а волновая обмотка — первый и четвертый слои.

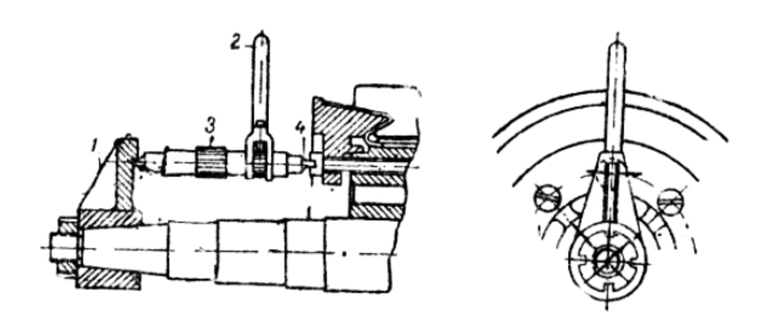
68. УСТРОЙСТВО КОЛЛЕКТОРА

Для обеспечения надежного контакта выводные концы секций у всех машин постоянного тока впаиваются в петушки коллектора свинцово-оловянным припоем, а у сильно нагруженных машин — чистым оловом. Петушки коллекторных пластин бывают двух видов. Они или представляют собой одно целое с коллекторной пластиной, или согнуты из медной ленты и впаяны в прорезь коллекторной пластины, а на противоположном конце заканчиваются скобочкой или вилкой, в которую вкладываются концы секций. Впаянные петушки делаются у таких машин, у которых разность радиусов якоря и коллектора больше трех см., а обмотка якоря — стержневая и концы ее не могут быть подогнуты к пластинам коллектора. Если машина охлаждается внутри воздухом, который по условиям работы сильно запылен, то петушки коллекторных пластин делаются цельными. У таких якорей проникновение пыли между лобовыми частями обмотки невозможно, так как торцевая часть петушков представляет собой сплошную стенку из меди и миканита, а цилиндрическая поверхность лобовых частей защищена парусиновым чехлом, края которого заделаны под бандажи. Независимо от конструкции петушков коллекторные пластины фрезеруются для вкладывания ленточных петушков или выводных концов секций. Фрезеровка коллекторных пластин производится тонким дисковым фрезом, толщина которого берется больше, чем толщина обмоточной меди, на 0,4 мм, из которых 0,2 мм прибавляется на толщину 4 слоев полуды проводника и стенок прорези, а 0,2 мм на зазор.



Фиг. 88. Разрез коллектора.

Для того чтобы представить себе технологическую сложность процесса пайки концов обмотки в петушки коллектора, необходимо ознакомиться с устройством самого коллектора. На фиг. 88 представлена типовая конструкция коллектора с цельными петушками для машины постоянного тока средней мощности. Коллектор собирается из медных пластин специального клинообразного профиля, с прокладками из миканита между пластинами. Каждая коллекторная пластина изолирована одна от другой и от корпуса. Коллекторные пластины должны быть укреплены так, чтобы цилиндрическая форма коллектора не нарушалась от действия центробежных сил при вращении коллектора и от нагревания во время работы, когда коллекторные пластины стремятся расшириться. Для выполнения этого требования в коллекторных пластинах, после того, как они собраны и спрессованы в стальном кольце, вытачиваются конические выточки, отчего нижняя часть пластины получает форму расширяющегося книзу клина, получившую название «ласточкина хвоста». В конические выточки пластин вставляются прессованные миканитовые манжеты, и они зажимаются между двумя шайбами конической формы, стягиваемыми между собой при помощи болтов. Таким образом, сила затягивания болтов через ласточкины хвосты передается всем коллекторным пластинам и стремится втянуть их внутрь. Эти усилия уравновешиваются давлением между боковыми стенками коллекторных пластин и передаются через проложенные между ними миканитовые прокладки.

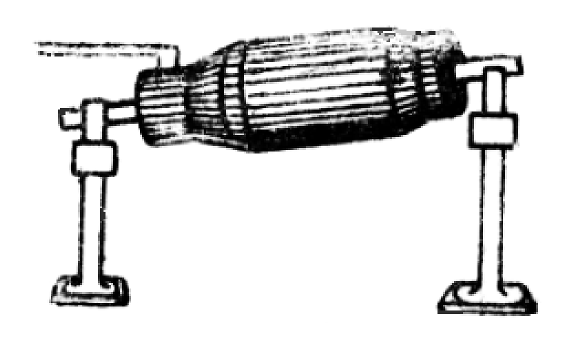


Фиг. 89. Ключ для подтягивания болтов коллектора.
1 - кронштейн; 2 - рычаг с трещеткой; 3 - раздвижная гайка; 4 - лезвие отвертки

Для того чтобы коллектор получился плотным, его спрессовывают несколько раз с подогревом и каждый раз подтягивают гайку при помощи специального ключа (фиг. 89). Хорошо спрессованный коллектор при простукивании по нему стальным молоточком издает звонкий звук, а не допрессованный коллектор — дребезжащий, глухой звук. В процессе работы коллектор нагревается до 150°, а температура плавления припоя, которым запаиваются выводные концы обмотки в петушки коллектора, составляет 280—320° С. Чем выше температура нагрева коллектора, тем более размягчается миканитовая изоляция и прессовка коллектора ослабляется. Как мы увидим далее, для сохранения изоляции коллектора в процессе пайки петушков применяются специальные меры.

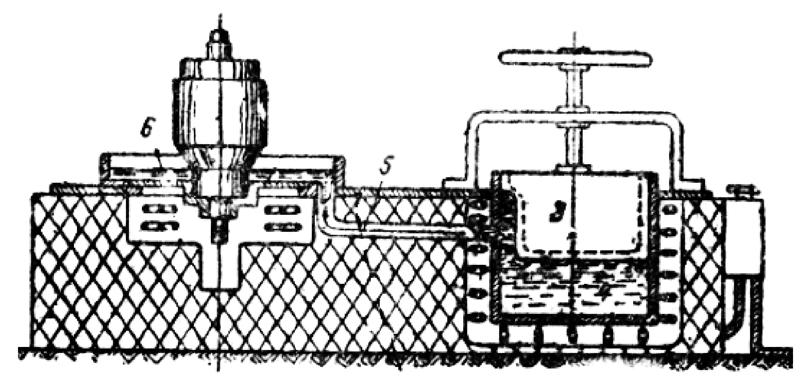
69. ПАЙКА ЛАМПОЙ И В ВАННЕ. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И СРАВНЕНИЕ ЭТИХ СПОСОБОВ

Существует два способа пайки концов обмотки в петушки коллектора: паяльником и в ванне. Если коллектор имеет ленточные петушки, то пайка концов обмотки может быть произведена только паяльником. Для этой цели применяются паяльники с источником тепла в головке, так как отвод тепла от места пайки по проводникам обмотки очень велик и паяльник с нагреваемой на огне головкой будет очень быстро остывать. Паяльники со спиралями сопротивления очень нестойки, и поэтому более употребительны дуговые паяльники, описанные в гл. 1. Небольшие коллекторы с цельными петушками тоже можно паять дуговым паяльником. Но при больших размерах отвод тепла весьма эффективный, так как место пайки связано петушком с коллекторными пластинами, обладающими очень большой теплоемкостью. Поэтому коллекторы большого диаметра перед пайкой необходимо прогревать, для чего пользуются паяльной лампой. Якорь ставят в наклонное положение, изображенное на фиг. 90, чтобы при пайке олово не могло стекать в обмотку, направляют пламя паяльной лампы на цилиндрическую поверхность коллектора и путем поворачивания коллектора прогревают все пластины до температуры плавления припоя. Этот способ называется пайкой *коллектора лампой.* После того, как коллектор разогрелся до требуемой температуры, берут палочку свинцовооловянного припоя и начинают пропайку петушков, смазав их раствором канифоли в бензине или спирте. Для стекания излишков припоя, под коллектором ставится поддон. При этом коллектор по мере пропаивания петушков медленно поворачивают в направлении от паяльной лампы. Таким образом, к месту пайки попадают наиболее нагретые пластины от паяльной лампы, а пропаянные петушки при вращении коллектора отдаляются от лампы.



Фиг. 90. Установка якоря для пайки коллектора.

После того, как $^3/_4$ окружности коллектора пропаяно, лампу надо убрать, так как иначе она будет выплавлять олово из пропаянных петушков. После окончания пайки и остывания коллектора торцы петушков протачиваются на токарном станке. Если при этом между концами проводников обнаруживаются щели, в которые не прошло олово, то такие места пропаиваются дополнительно дуговым паяльником. Причиной плохой пропайки может служить недостаточная очистка места пайки от грязи или образование слоя окиси. Поэтому необходимо тщательно зачищать все потемневшие места в петушках при помощи пилы и стеклянной бумаги. Большие щели между выводными концами обмотки должны быть забиты медными клинышками (из обрезков обмоточной меди). Плохо пропаянные соединения обладают повышенным электрическим сопротивлением, а поэтому при прохождении тока сильно нагреваются. Иногда это нагревание достигает такой степени, что петушки распаиваются при работе машины и якорь выходит из строя. Поэтому в ответственных машинах не удовлетворяются наружным осмотром качества пайки, а проверяют его приборами. При пайке коллектора лампой он подвергается сильным и неравномерным перегревам. Температура нагрева определяется «на-глаз», и отдельные части коллектора могут быть нагреты более сильно, чем это требуется для пайки. Часто на пластинах коллектора можно заметать цвета побежалости — признак чрезмерного нагрева. Очевидно, что такие перегревы не могут не сказаться на миканитовой изоляции между пластинами и коллекторных манжетах. Происходит вытекание и выгорание оклеивающих лаков и даже разложение слюдяных чешуек. От этого изоляция теряет свои механические и электрические свойства, что снижает надежность машины в работе. Все недостатки, которые свойственны пайке коллекторов лампой, отсутствуют при пайке в ванне. Ванна (фиг. 91) представляет собой сосуд 6 кольцевой формы с центральным отверстием для вала. Под ванной расположены спирали электрического подогрева. Внутренний диск, образующий дно ванны, делается сменным и центральная расточка его равна диаметру коллектора. Сбоку от ванны располагается печь с электрическим нагревом, в которой расплавляется припой. Якорь ставят в кольцевую ванну, затем поворотом маховика опускают поршень 3, который выдавливает жидкое олово из бачка 4, и оно по трубке 5 поднимается в ванну 6. Уровень олова в ванне доводится до линии на 2 мм ниже верхнего уровня петушков, так как иначе олово может затечь на задний торец коллектора и замкнуть коллекторные пластины между собой. Пайка в ванне имеет следующие преимущества по сравнению с пайкой лампой: 1) рабочее время сокращается в несколько раз; 2) достигается значительная экономия припоя, который при этом не разбрызгивается и не загрязняется; 3) коллектор полностью защищен от перегревов, так как он нагревается не выше температуры припоя и притом нагревается равномерно и непродолжительное время. Поэтому на всех заводах, выпускающих серийно машины постоянного тока, установлены ванны для пайки коллекторов.



Фиг. 91. Ванна для пайки коллектора.

70. ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ ОТДЕЛКА ЯКОРЯ ПОСЛЕ НАМОТКИ

После пайки концов обмотки в петушки коллектора якорь проходит пропитку, сушку и бандажировку, подробно описанные в гл. 11 и 12. Перед отправлением на сборку якорь подвергается операциям окончательной отделки, состоящим в балансировке, окраске наружной поверхности, лакировке поясков коллектора, шлифовке, полировке и продороживанию коллектора. Балансировкой якоря называется такая операция, при которой устраняется смещение центра тяжести якоря с его геометрической оси. Если бы якорь являлся совершенно однородным цилиндром, то центр тяжести его совпадал бы с геометрической осью, но на самом деле наблюдается другое. Если положить якорь шейками вала на горизонтальные шлифованные линейки, то он только в одном положении будет оставаться в покое. Если же его вывести из этого положения, то он будет перекатываться по линейкам, сначала в одну сторону, затем в другую, и после нескольких перекатываний остановится опять в прежнем положении равновесия. Это происходит потому, что одна половина якоря тяжелее, чем другая, и он находится в устойчивом равновесии только тогда, когда тяжелая половина находится внизу. Перетягивание одной половины якоря зависит от многих причин: неодинаковой толщины стенок отливок, неодинаковой толщины листов пакета, неравномерного распределения лобовых частей обмоток, наплыва лака и т. п. Неуравновешенный якорь, особенно при больших скоростях вращения, вызывает дрожание всей машины, расшатывает фундамент и перегружает подшипники. Для устранения неуравновешенности якоря закладывают дополнительные балансировочные грузы на легкой половине якоря в специальные канавки, предусмотренные в нажимной шайбе якоря и коллектора. Величину груза подбирают такой, чтобы якорь, остановленный на линейках в любом положении, не стремился перекатываться. Якоря малых машин балансируют путем напайки припоя на бандажи, удерживающие лобовые части обмотки. Наружная окраска якоря производится серой электроэмалью и имеет целью создать на поверхности якоря водонепроницаемую пленку, которая защищает обмотку от проникновения влаги, а остальные поверхности якоря — от ржавления. Окраска производится кистью или пульверизатором, после чего якорь подвергается сушке в печи в течение 6 час.

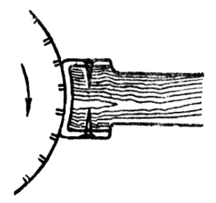
71. ЛАКИРОВКА ТОРЦЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КОЛЛЕКТОРА И ИЗОЛЯЦИОННОГО ПОЯСКА

Как мы видели при рассмотрении устройства коллектора, медные пластины очень надежно изолированы от вала при помощи манжет из высококачественного изоляционного материала — миканита. Поэтому пробивание изоляции на корпус машины внутри коллектора — явление очень редкое. Гораздо чаще коллектор выходит из строя вследствие пробивания выступающей из-под пластин части манжеты, которая поверх бандажируется несколькими оборотами киперной ленты, для предохранения от расслаивания миканита при вращении якоря. Помимо пробивания изоляции в этом месте часто наблюдается перебрасывание

электрической искры с коллекторной пластины на торец нажимной шайбы коллектора через изоляционный поясок. Это объясняется тем, что при работе машины угольные щетки истираются, и пыль от них покрывает все поверхности, находящиеся вблизи от щеток. Уголь является проводником электрического тока, и слой угольной пыли превращает изоляционный поясок в проводник, по которому начинает протекать ток. Надежным средством борьбы с этим явлением служит лакировка торцов коллекторных пластин и изоляционного пояска с тем, чтобы придать им гладкую, блестящую поверхность, на которой пыль не может задерживаться и которую при осмотрах машины легко можно было бы чистить сухой тряпкой. Лакировка производится путем четырехкратного покрытия изоляционного пояска, торцов коллекторных пластин и шайбы коллектора глифталевой эмалью с последующей сушкой в печи каждого слоя. Перед наложением последнего слоя следует очистить поверхность изоляционного пояска мелкой стеклянной шкуркой.

72. ШЛИФОВКА ПОВЕРХНОСТИ КОЛЛЕКТОРА

Окончательная обточка коллектора производится после пропитки и бандажировки якоря, а также в процессе ремонта машины при обнаружении на поверхности коллектора неровностей от неравномерной выработки его щетками или при образовании прогаров миканита между пластинами. При обточке коллектора якорь устанавливается на токарный станок, но не в центрах вала, а в люнетах шейками вала, предназначенными для посадки подшипников. Это делается для того, чтобы свести до минимальной величины биение коллектора при вращении якоря в подшипниках машины. Всякий вал имеет небольшое искривление, и поэтому концы вала при работе машины в собственных подшипниках имеют небольшое биение. Если бы обточка коллектора производилась относительно центров на концах вала, то при вращении якоря в собственных подшипниках коллектор имел бы биение, равное величине искривления вала. При обточке же коллектора относительно шеек вала искривление концов вала не отражается на биении коллектора. Коллекторы крупных машин в процессе ремонта обтачивают непосредственно в машине, не вынимая якоря. Для этого на подшипниковом щите или на фундаменте устанавливается переносный суппорт с резцом, а якорю дается вращение от вспомогательного двигателя через муфту на конце вала. При обточке коллектора на станке необходимо тщательно выверить якорь до минимального биения коллектора при вращении. Обточка коллектора производится остро заточенным резцом из закаленной углеродистой стали при скорости резания 8—10 м/мин, причем подача резца и глубина резания должны быть минимальными. После того, как при обточке снят весь припуск на обработку, и диаметр коллектора получил размер, указанный в чертеже, производится тщательная шлифовка поверхности коллектора с помощью специальной деревянной колодки, обтянутой мелким наждачным полотном и укрепленной в резцедержателе токарного станка (фиг. 92). При шлифовке станку дается попеременно прямое и обратное вращение.



Фиг. 92. Колодка для шлифовки коллектора.

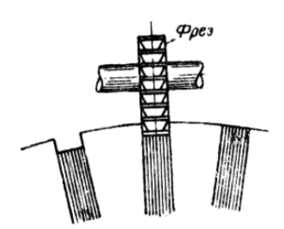
Шлифовка производится до тех пор, пока поверхность коллектора не сделается совершенно гладкой и блестящей без всяких следов резца. Шлифованный коллектор обвертывают прессшпаном толщиной 0,5 мм и обвязывают лентой или бечевкой для предохранения от загрязнения или повреждений при хранении и транспортировке.

73. ПРОДОРОЖИВАНИЕ КОЛЛЕКТОРА И ЕГО НАЗНАЧЕНИЕ

В практике работы машин постоянного тока замечается, что по прошествии некоторого срока миканитовая изоляция начинает выступать над поверхностью пластин. Это явление может быть объяснено несколькими причинами. Во-первых, истирание медных пластин коллектора происходит быстрее, чем истирание прессованного миканита; во-вторых, медные пластины изнашиваются не только благодаря трению щеток, но также вследствие переноса частиц меди на щетку при искрении, которое в большей или меньшей степени всегда происходит. Наконец, выступание изоляции может происходить при периодическом нагревании и остывании коллектора во время работы и при остановках машины, когда коллектор то увеличивается в диаметре, то снова уменьшается, причем происходит взаимное перемещение меди и миканита. Выступание изоляции над поверхностью пластин даже на незначительную величину, выражающуюся в сотых долях миллиметра, сильно ухудшает работу щеток на коллекторе, так как при этом увеличивается трение и нарушается контакт между щеткой и пластинами коллектора. Для избежания выступания изоляции почти во всех современных машинах производится продороживание коллекторов.

74. СПОСОБЫ ПРОДОРОЖИВАНИЯ КОЛЛЕКТОРА

Продороживание происходит от слова «дорожка» и состоит в том, что изоляция между коллекторными пластинами углубляется на 0,5—1 мм, что достигается механической обработкой. Таким образом, поверхность коллектора покрывается дорожками в местах вырезки изоляции, откуда и пошло наименование операции. Продороживание коллектора производится двумя способами — фрезерованием коллектора или пропилкой. Для фрезерования служит специальный станочек, и операция продороживания производится фрезом малого диаметра, так как большой фрез будет упираться и петушки коллектора. Вращение фрезу передается через гибкий вал, а подача производится вручную (фиг. 93). При отсутствии такого станочка можно прорезание изоляции производить вручную, с помощью пилки или специально заточенного шабера. После прорезания изоляции не должно оставаться чешуек слюды на боковых сторонах коллекторных пластин, образующих полученные канавки. После продороживания коллектора грани коллекторных пластин надо скруглить с помощью шабера и прочистить канавки волосяной щеткой.

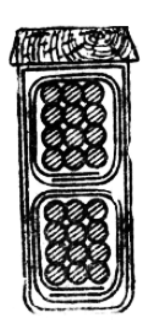


Фиг. 93. Продороживание коллектора.

ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ БАНДАЖИРОВАНИЕ ОБМОТОК

75. СПОСОБЫ УКРЕПЛЕНИЯ ОБМОТОК В ПАЗАХ И ИХ СРАВНЕНИЕ

При вращении якорей и роторов развиваются центробежные силы, которые стремятся выбросить обмотки из пазов наружу. Центробежные силы при большом числе оборотов якоря или ротора достигают очень больших значений. Например, при диаметре якоря 0,5 м и числе оборотов 1000 в минуту центробежная сила в 250 раз больше веса обмотки. При увеличении скорости вращения центробежная сила растет не пропорционально увеличению скорости, а квадратично, т. е. при числе оборотов 2000 в минуту центробежная сила возрастет не в два, а в четыре раза, и каждый килограмм веса обмотки будет создавать центробежную силу в одну тонну.



Фиг. 94. Паз с клином.

При закрытых пазах центробежная сила воспринимается зубцами пакета ротора, а при открытых пазах должны быть приняты специальные меры, чтобы удержать обмотку в пазах при вращении якоря. Для этой цели применяются два способа, а именно, клинья и бандажи.
Для вставления клиньев в открытых пазах предусматриваются специальные углубления, образуемые в листах при штамповке, в которые после укладки обмотки в пазы забиваются деревянные или текстолитовые клинья (фиг. 94). Для бандажей на якоре при сборке пакета делаются кольцевые канавки путем наборки листов меньшего диаметра и в эти канавки наматываются бандажи из стальной проволоки (фиг. 74). В обоих случаях лобовые части обмотки удерживаются от выгибания под действием центробежной силы проволочными бандажами. Каждый из этих двух способов имеет свои преимущества и недостатки. Клинья имеют большую поверхность, соприкосновения с секциями якоря, и поэтому давление обмотки на единицу поверхности при клиньях меньше, чем при бандажах. При этом клинья не только удерживают обмотку, но создают сплошную стенку над пазами и тем предохраняют секции от проникновения в них пыли, грязи и влаги. В клиньях не возникают дополнительные потери, так как они выполнены из изоляционных материалов. С другой стороны клинья требуют сложной и длительной технологии сушки и пропитки. Для деревянных клиньев применяются прочные сорта дерева, в основном белый бук, который подвергается сушке в течение нескольких лет. Для клиньев выбираются бруски без всяких пороков (сучьев, трещин, расслоений). Резка брусков на заготовки для клиньев должна производиться под углом 30° к растительным слоям во избежание скалывания при забивании в паз. Клинья из недостаточно просушенного дерева усыхают в процессе работы машины и выскакивают из пазов, что приводит к аварии машины. Кроме того, клинья занимают больше места по высоте паза и усложняют форму пазового штампа. Вследствие этих причин применение клиньев для открытых пазов становится все реже, и они уступают место проволочным бандажам. Наоборот, для полуоткрытых пазов, в которые обмотка закладывается через шлиц, клинья имеют исключительное применение, так как благодаря небольшой ширине шлица требования в отношении прочности клиньев в таких машинах весьма ограниченные.

76. ИЗОЛЯЦИЯ ПОД БАНДАЖАМИ

Изоляция под бандажами имеет очень важное значение и к ней предъявляются высокие требования не только в отношении электрической прочности, но также и в отношениях механической прочности и теплостойкости. В предыдущем параграфе говорилось о том, какие развиваются центробежные силы, вызывающие давление секций на бандажи. Под действием этих давлений изоляция под бандажами не должна прорезаться и раздавливаться. Кроме того, витки бандажей после намотки опаиваются свинцово-оловянным припоем или оловом. Поэтому изоляция под бандажами должна быть теплостойкой и выдерживать температуру паяльника. Обычно независимо от класса изоляции обмотки, для изоляции под бандажи, как на якоре, так и на лобовых частях берут гибкий миканит толщиной 0,5 мм и латероид толщиной 0,5 мм, который кладется поверх миканита. Из этих двух слоев миканит является электрической теплостойкой изоляцией, а латероид предохраняет его от

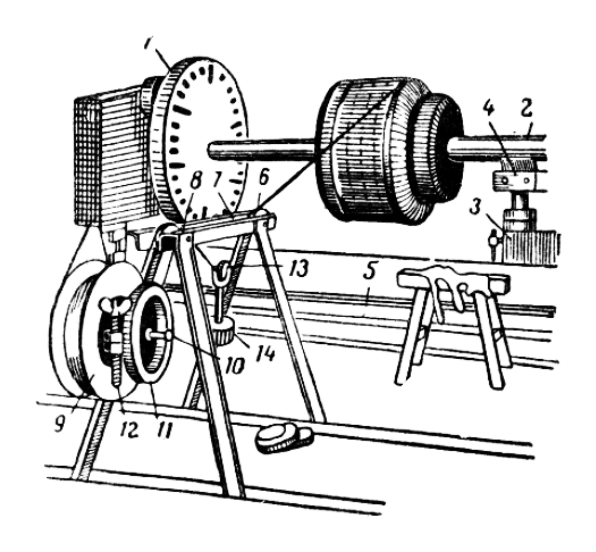
механических повреждений. Ширина полос изоляции для якоря берется по ширине канавки, а на лобовых частях на 8 мм шире проволочного бандажа. Например, если бандаж состоит из 20 витков проволоки диаметром 1,5 мм, то ширина изоляции берется 38 мм. Если бандаж наматывается в несколько слоев, один над другим, то каждый слой пропаивается самостоятельно и между ними прокладывается асбестовая бумага толщиной 0,2—0,3 мм. Это делается для того, чтобы уменьшить потери от паразитных токов, которые в массивном кольце достигали бы очень большой величины.

77. СВОЙСТВА БАНДАЖНОЙ ПРОВОЛОКИ

Для бандажировки якорей применяется специальная стальная луженая проволока с очень высокими механическими свойствами. Чтобы разорвать такую проволоку сечением в 1 мм^2, надо приложить усилие 180—200 кг. Для того чтобы бандажи были надежными, усилие центробежных сил обмотки на каждый квадратный миллиметр сечения бандажа рассчитывают не более 40 кг. Из этого расчета подбирают число витков бандажа, который, таким образом, имеет четырех-пятикратный запас прочности. Лужение проволоки производится для того, чтобы она не подвергалась окислению и легко пропаивалась. Проволока поступает в бухтах и имеет следующий сортамент диаметров:
0,6—0,8—1—1,2—1,5—2—2,5 мм. Наиболее употребительными размерами бандажной проволоки являются 0,8, 1 и 1,5 мм. Выбор диаметра проволоки зависит от числа оборотов и от диаметра якоря. Иногда при бандажировке из-за отсутствия размера проволоки, указанного в чертеже, приходится заменять ее проволокой другого диаметра, соответственно изменяя число витков. При этом необходимо иметь в виду, что число витков меняется пропорционально не отношению диаметров, а квадрату отношения диаметров.
Пример. В чертеже указан бандаж из проволоки диаметром 1,5 мм, состоящий из 20 витков. Если вместо проволоки диаметром 1,5 мм взять проволоку диаметром 1,2 мм, то число витков должно быть не 20, а: $20 \times (1{,}5 / 1{,}2)^2 = 20 \times (2{,}25 / 1{,}44) = 31$
При этом изменится и ширина бандажа. По чертежу она была 20 × 1,5 = 30 мм, а теперь стала 31 × 1,2 = 37,2 мм. Следовательно, изоляционные прокладки под бандаж надо резать на 7 мм шире. Увеличение ширины бандажа произошло потому, что при уменьшении диаметра проволоки он стал тоньше, а общее поперечное сечение его должно сохраниться прежним.

78. БАНДАЖИРОВОЧНЫЕ СТАНКИ

Навивка бандажей производится на специальном бандажировочном станке, похожем на обычный токарный станок. На фиг. 95 изображен бандажировочный станок. Он состоит из следующих основных деталей:
1 — планшайба для захвата и вращения вала якоря;
2— задняя бабка для укрепления второго конца вала (на рисунке она не видна);
3 — подвижный люнет, передвигаемый вдоль оси станка, служащий для создания опоры для вала.
4 — деревянный вкладыш люнета, подъем и опускание которого производятся червячной передачей;
5 — педаль для включения и выключения станка, представляющая собой трубу, идущую вдоль станка.

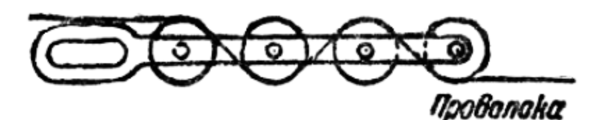


Фиг. 95. Станок для бандажировки.

Бандажная проволока подается с бухты, насаженной на барабан 9, укрепленный на специальном приспособлении, рама 7 которого может передвигаться на салазках вдоль оси станка. В приспособлении имеются ролики 6, 8 и 13, через которые направляется бандажная проволока. На раме приспособления укреплен вал 10, на котором вращается барабан с навитой на него бандажной проволокой.

79. СПОСОБЫ НАТЯЖЕНИЯ ПРОВОЛОКИ

При навивке бандажей проволока должна накладываться на якорь не свободно, а с натяжением. Очевидно, что для создания натяжения проволока должна каким-то способом задерживаться при намотке бандажа. Для этого существуют два способа. Первый способ состоит в том, что барабан, На котором намотана бандажная проволока, затормаживается и от усилия торможения зависит натяжение проволоки. Этот способ натяжения применен на бандажировочном станке, изображенном на фиг. 95. На конце вала имеется шкив, который охватывается двумя полухомутами. Хомуты с одной стороны укреплены на раме, а с другой стягиваются винтом 12 с барашком на конце. Посредством поворачивания винта можно затягивать хомутами шкив и препятствовать свободному вращению барабана. Этот способ имеет некоторые недостатки. При неравномерной силе трения по окружности шкива вследствие его неправильной формы и неодинаковой степени шероховатости поверхности натяжение бандажной проволоки может довольно сильно изменяться. Это поведет к тому, что при навивке бандажа один виток будет натянут более туго, чем другой и, очевидно, будет более сильно нагружен. Таким образом, витки бандажа будут нагружены неодинаково и при больших усилиях от центробежной силы наиболее нагруженные витки могут оборваться, и весь бандаж выйдет из строя.



Фиг. 96. Блоки для натяжения бандажной проволоки.

Значительно более постоянное натяжение бандажной проволоки достигается при втором способе, когда проволока сходит с бухты свободно, но по пути к якорю проходит через систему блоков (фиг. 96). Рама блоков привязывается к полу. Чем большее число роликов будет охватывать проволока, тем с большим натяжением она будет наматываться на якорь.

80. ПРОВЕРКА НАТЯЖЕНИЯ БАНДАЖНОЙ ПРОВОЛОКИ ПРИ НАМОТКЕ

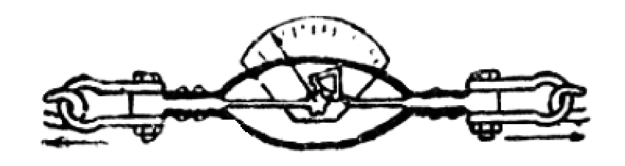
Натяжение проволоки при намотке бандажей выбирается в зависимости от диаметра проволоки, как видно из следующей таблицы:

Диаметр проволоки, мм	Натяжение, кг
1	50 - 60
1,2	65 - 80
1,5	100 - 120
2	180 - 200

Отсюда ясно, почему диаметр проволоки выбирается в соответствии с размерами якоря. Если бы, например, бандажировать якорь маленькой машинки, имеющей диаметр вала 10 мм, проволокой диаметром 2 мм, то сила натяжения проволоки изогнула бы вал. Особенно тщательно приходится контролировать натяжение проволоки при намотке многослойных бандажей. В этом случае натяжение проволоки для каждого следующего слоя берется на 10% меньше, чем для предыдущего, который лежит под ним. Например, если наматывается трехслойный бандаж из проволоки диаметром 1,5 мм, то для нижнего слоя натяжение берется 120 кг, для второго слоя—108 кг и для третьего слоя — 97 кг. Это делается потому, что при намотке каждого слоя обмотка, лежащая под бандажами, несколько осаживается и натяжение бандажей ослабляется. Если бы все слои были намотаны с одинаковым натяжением, то большая часть нагрузки приходилась бы на последний слой бандажа. Натяжение проволоки, указанное в чертеже, должно обязательно проверяться в процессе намотки бандажей. На фиг. 95 для этой цели служит гиря 14, которая повешена на проволоку, посредством подвижного блока 13. Величину гири подбирают по заданной силе натяжения. Проверка производится таким образом: если натяжение проволоки соответствует заданному, то гиря находится в равновесии. Если натяжение больше требуемого, то гиря будет подниматься и при меньших натяжениях — опускаться. Более точно величину натяжения можно контролировать динамометром, стрелка которого указывает не относительную, а абсолютную величину натяжения.

81. УСТРОЙСТВО И ПРОВЕРКА ДИНАМОМЕТРОВ

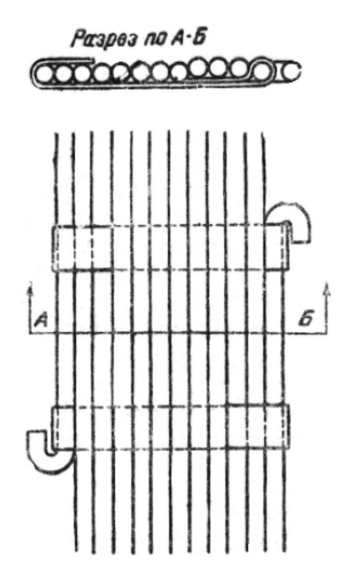
Общий принцип устройства динамометров состоит в том, что внутри коробки помещается витая или плоская пружина, один конец которой закреплен в коробке, а другой связан с крюком, к которому прикладывается нагрузка. Всякий динамометр снабжен стрелкой и шкалой, на которой обозначены величины нагрузок в килограммах или тоннах. При действии нагрузки на крюк стрелка отклоняется и конец ее указывает на шкале величину приложенной нагрузки. Пример устройства динамометра можно видеть на фиг. 97. Ввиду того, что каждая пружина стечением времени изменяет свои свойства, динамометры должны периодически подвергаться проверке. Для этого к крюку динамометра прикладывается нагрузка, величина которой заранее известна, и проверяются показания стрелки динамометра. Если обнаруживается расхождение, то должны быть внесены исправления на шкале динамометра. Для предохранения динамометров от преждевременного износа не надо их без нужды оставлять на длительное время под нагрузкой.



Фиг. 97. Динамометр.

82. ЗАМКОВЫЕ СКОБОЧКИ ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ БАНДАЖЕЙ И ИХ РАСПОЛОЖЕНИЕ

Для того чтобы закрепить концы бандажей и не дать виткам возможности расходиться, служат замковые скобочки, которые делаются из белой жести толщиной 0,25 мм для тонкой бандажной проволоки и 0,36 мм для проволоки диаметром 1,5 мм и выше. Заготовки для скобочек нарезаются в виде полосок шириной 15—20 мм для концевых скобочек и 8—10 мм для промежуточных. Длина полосок для концевых скобочек берется на 20—25 мм, а для промежуточных — на 8—12 мм больше ширины бандажа. Назначение концевых скобочек состоит в закреплении начала и конца бандажа.



Фиг. 98. Скобочки для закрепления концов бандажа.

Скобочка для закрепления начала бандажа огибается вокруг первого витка бандажа и загнутый конец ее навиваются следующие витки. Скобочка для закрепления конца бандажа (фиг. 98) загибается предварительно в виде петли вокруг кусочка бандажной проволоки, и загнутый конец ее удерживается витками бандажа, оставляя петлю свободной. Если на якорь наматывается несколько бандажей, то все они делаются одной непрерывной проволокой с переходными витками между бандажами. После того, как все бандажи намотаны и запаяны, переходные витки вырезают кусачками, а концы бандажей заводят в приготовленные для них петли в замковых скобочках. Начала и концы бандажей по выходе из скобочек загибают, как указано на фиг. 98. Закрепление начал и концов бандажей должно выполняться очень тщательно. Если при вращении якоря конец бандажа освободится, то он начнет задевать за полюса, и может произойти авария, если это не будет вовремя замечено. Промежуточные скобочки загибаются на витки бандажа, и после намотки и не дают виткам расходиться. Концы скобочек предохраняются от разгибания посредством пайки. Концевые и промежуточные скобочки закладываются в процессе намотки первого витка бандажа. На каждый бандаж ставится две концевых скобочки и несколько промежуточных. В чертежах часто указывается только количество скобочек, между тем как расположение их по окружности якоря также имеет важное значение. В процессе намотки бандажей надо руководствоваться следующими правилами:

1. Скобочки каждого ряда следует располагать равномерно по окружности.
2. Начало и конец бандажа должны перекрываться, как показано на фиг. 98. Таким образом, между замковыми скобочками бандаж на одну проволоку больше, чем в остальных сечениях.
3. На пакете якоря скобочки должны ставиться над зубцами, а не над пазами.
4. Ширина скобочки не должна быть больше толщины зубца в верхней его части.
5. Порядок намотки витков бандажа на лобовых частях должен быть от пакета к концам якоря, чтобы избежать выпучивания лобовых частей

83. ПАЙКА БАНДАЖЕЙ

Выше было сказано, что вследствие неравномерного натяжения бандажной проволоки при намотке могут создаваться неодинаковые напряжения в витках бандажа. Для того чтобы добиться более равномерного распределения напряжений во всех витках бандажа, после намотки и загибки скобочек бандаж пропаивают по всей окружности, превращая его в сплошное кольцо. Пропайка бандажей имеет и другое значение. Если бы произошел разрыв одного из витков бандажа, то непропаянный бандаж, вследствие упругости проволоки, мгновенно распустился бы, как пружина, что повело бы к аварии. Если же обрыв одной из проволок произойдет в пропаянном бандаже, то процесс его разматывания будет происходить медленно, может быть вовремя замечен, и авария будет предотвращена. Пайка бандажей производится в процессе намотки и после намотки. При намотке пропаиваются начала и концы бандажей в местах" ответвления от них переходных витков и отдельные скобочки, а после намотки пропаивается вся поверхность бандажа. Пропайка производится третником, а в особо ответственных машинах — чистым оловом, что повышает теплостойкость соединения. Она выполняется при помощи электрического паяльника непрерывного действия, который должен быть хорошо прогрет. Процесс пропайки должен производиться быстро, чтобы уменьшить время нагрева обмотки, лежащей под бандажом. При этом не догретый паяльник приносит больше вреда, чем перегретый. Если, например, паяльник имеет температуру 200—220°, то олово не будет плавиться, а длительное, нагревание обмотки до такой температуры вызывает разрушение ее изоляции. Наоборот, если паяльник нагрет до 350—400°, то пайка совершается быстро и обмотка не успевает нагреться даже до той температуры, до которой ее нагревал не догретый паяльник при долгом соприкосновении с бандажом. При пайке бандажей надо быть очень внимательным и осторожным, чтобы не допустить протекания капель, припоя в пазы и в промежутки между лобовыми частями обмотки. Рекомендуется, пропаянные места охлаждать струей воздуха для сокращения времени и степени перегревания обмотки. Надо следить также за тем, чтобы не образовывалось больших наплывов припоя на бандаже, так как вес наплывов создает дополнительную нагрузку от центробежной силы при вращении якоря. Поэтому после пайки бандажи протирают тряпкой, пока припой еще не застыл. Если по чертежам предусматривается напайка на бандажи для балансировки, то ее следует делать менее тугоплавким припоем, чтобы при наплавлении напаек не распаять основную пайку бандажей. Толщина напайки не должна выступать за пределы окружности якоря, так как иначе она будет задевать за статор при работе или при сборке машины.

ГЛАВА ДВЕНАДЦАТАЯ СУШКА И ПРОПИТКА ОБМОТОК

84. ИЗОЛЯЦИОННЫЕ ЛАКИ

При изготовлении различного рода обмоток очень важное значение имеют процессы сушки и пропитки, благодаря которым изоляция обмоток получает требуемые от нее качества. Хлопчатобумажные изоляции до пропитки имеют очень низкие изоляционные свойства, ввиду того, что они легко поглощают влагу из воздуха, а в увлажненном виде такая изоляция превращается в полупроводник. Наоборот, при помощи пропитки хлопчатобумажные материалы получают настолько высокие изоляционные свойства, что даже после пребывания в помещении с повышенной влажностью воздуха сохраняют сопротивление изоляции. Очень наглядным примером может служить лакоткань, которая совершенно не пропускает воду и выдерживает на пробивание 30000 В на 1 мм толщины, в то время как хлопчатобумажная материя, путем пропитки которой она изготовляется, очень гигроскопична, т. е. легко поглощает влагу и имеет пробивное напряжение всего 2000 в даже в просушенном виде. Пропитка изоляционных материалов и изолированных деталей производится специальными лаками. Не все лаки могут быть использованы в качестве пропиточных. Это зависит не только от состава лака, но и от его концентрации. По своему назначению лаки разделяются

на пропиточные, покровные и клеящие. Покровные лаки применяются для создания наружной пленки на пропитанных и высушенных частях обмотки. Клеящие лаки применяются при производстве изоляционных материалов, например, миканита, слюдяных лент или для скрепления между собой отдельных частей, например, проводников стержневых секций или закрепления концов ленты при изолировке. В зависимости от того, из каких материалов лаки составлены, они имеют различные названия. Наиболее употребительными являются следующие изоляционные лаки: асфальтовый, глифталевый, бакелитовый, шеллачный. Лак состоит из твердого вещества, которое называется телом лака, пленкообразующих масел или смол, растворителя и сиккатива. Для асфальтовых лаков основой или телом лака служит асфальтовая смола, вещество черного цвета. Назначение масла в лаке заключается в том, чтобы при высыхании лак образовывал упругую пленку, без повреждений выдерживающую изменения формы, которым изолированная деталь или материал подвергаются. Таковы, например, гибка ленты при изолировке, изгибание секций при закладке в пазы и т. д. Наилучшим для этой цели является льняное масло, которое дает наиболее упругую пленку, долго сохраняющую свои свойства. В качестве растворителей применяются бензин, спирт, толуол, которые служат для разжижения лака в процессе пропитки. Эти растворители впоследствии испаряются при сушке. Сиккативами называются химические вещества, ускоряющие процесс сушки. В качестве сиккативов применяются различные соли металлов. В зависимости от предъявляемых требований пропитка может повторяться несколько раз. Так, например, обмотки машин с противосыростной изоляцией пропитываются до 6 раз, с предварительной и последующей сушкой при каждой пропитке. Сушка является неизбежным спутником всякой операции пропитки и имеет, двойное значение. Во-первых, сушка производится перед пропиткой для того, чтобы извлечь из пропитываемой изоляции содержащуюся в ней влагу. Без этого процесс пропитки не может быть хорошо выполнен, так как для хорошей пропитки материала поры его должны быть свободны для впитывания изоляционных лаков. Во-вторых, сушка производится после пропитки для того, чтобы испарить из лаков жидкие растворители, которые необходимы, чтобы ввести в поры пропитываемого материала изоляционные лаки. Сушка производится в специальных сушильных шкафах, в которых температура может быть поднята до 150°, а для удаления испаряемой влаги имеется хорошая вентиляция. Для сушки изолированных деталей применяются специальные вакуумные баки, в которых кроме поднятия температуры производится еще понижение атмосферного давления, так как в этих условиях испарение влаги происходит значительно эффективнее. Подробно процессы сушки и пропитки будут рассмотрены позже, в § 87.

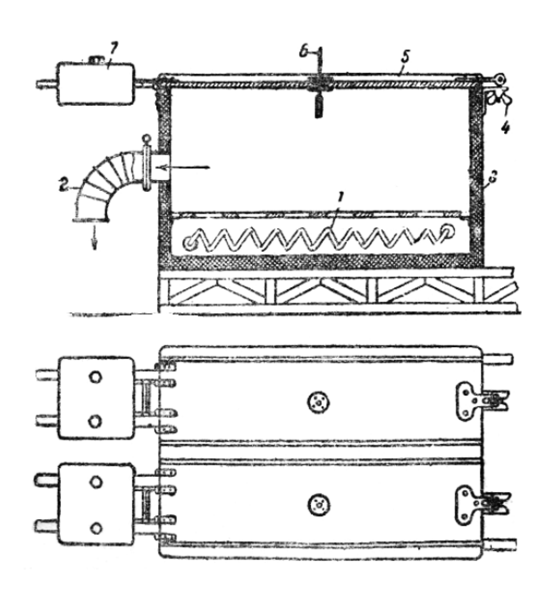
85. КОМПАУНДИРОВАНИЕ ОБМОТАННОГО СТАТОРА МАШИН С ПРОТИВОСЫРОСТНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Кроме пропитки существует еще процесс, который называется компаундированием. Он отличается от пропитки тем, что вместо пропиточных лаков применяется компаундная масса, состоящая из тех же составных частей, что и асфальтовые лаки, но значительно более густая. Лак создает тонкую пленку только вокруг проводников обмотки, а промежутки между ними остаются незаполненными, в то время как компаундная масса заполняет все промежутки между проводниками и делает обмотку совершенно водонепроницаемой. Кроме того, заполнение воздушных промежутков компаундной массой улучшает теплопроводность обмотки и облегчает отдачу наружу тепла, выделяемого внутренними проводниками обмотки. Для того чтобы вдавить густую компаундную массу во все щели между проводниками обмотки, процесс компаундирования производят в специальных котлах (автоклавах) в такой последовательности: сначала обмотку просушивают при открытой дверке автоклава, затем закрывают дверку наглухо и из автоклава выкачивают воздух. После этого впускают в автоклав горячую компаундную массу и создают внутри автоклава давление 6 ат., при котором компаундная масса проникает во все мельчайшие промежутки

между проводниками обмотки. Если разрезать компаундированную катушку, то в месте разреза будут видны медные кружочки перерезанных проводников, на сплошном черном поле компаундной массы. При остывании компаундная масса представляет собой твердое вещество наподобие чистого асфальта. Процесс компаундирования занимает значительно меньше времени, чем многократная пропитка, за счет того, что сокращается время на предварительную и последующую сушку, занимающие по 8—10 часов каждая и сопровождающие каждую очередную пропитку. Компаундирование применяется для статорных секций больших машин и для обмотанных статоров машин с влагостойкой изоляцией, которые предназначены для работы в помещениях с влажным воздухом. Компаундирование заменяет многократную пропитку обмоток до, и после вкладывания секций в пазы. Для компаундирования статора требуется наличие автоклава такого размера, чтобы в него поместился обмотанный статор вместе с корпусом машины. После выемки из автоклава налипшие сгустки компаундной массы должны быть счищены с обмоток деревянной лопаточкой, пока масса еще не успела остыть и затвердеть. После остывания лобовые части обмотки покрываются серой электроэмалью для создания наружной изоляционной пленки. В процессе компаундирования все резьбовые отверстия в корпусе должны быть защищены ввернутыми в них шпильками, так как очищение резьбы от компаундной массы весьма затруднительно. Компаундированию подвергаются также катушки полюсов машин постоянного тока не только с противосыростной, но и с обычной изоляцией, в целях экономии времени, потребного на пропитку. К сожалению, компаундированию нельзя подвергать вращающиеся детали, т. е. якоря и роторы, так как сгустки компаундной массы, разогреваясь при работе машины, могут выбрызгиваться под действием центробежной силы.

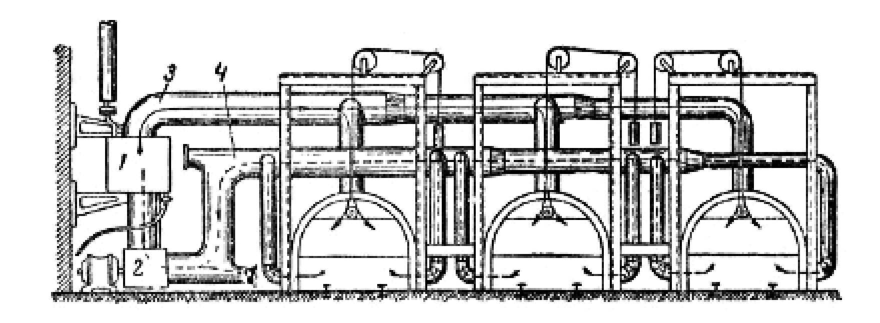
86. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СУШКИ, ПРОПИТКИ И КОМПАУНДИРОВАНИЯ

Для сушки, пропитки и компаундирования требуется специальное оборудование в виде сушильных печей и баков (для пропитки) и автоклавов (для компаундирования). Устройство сушильной печи для сушки катушек и якорей машин малой мощности представлено в фиг. 99. Она представляет собой шкаф с двойными стенками, пространство между которыми заполнено нетеплопроводным материалом. Боковые наружные стенки шкафа 3 изолированы асбестом. Внутри шкафа, на дне его, расположены змеевики 1, которые обогреваются паром. Загрузка шкафа производится сверху. Для этого вверху шкафа имеется крышка 5, плотно прижимающаяся двумя барашками 4. Для удаления влаги имеется выходная труба 2, через которую производится отсасывание.



Фиг. 99. Шкаф для сушки.

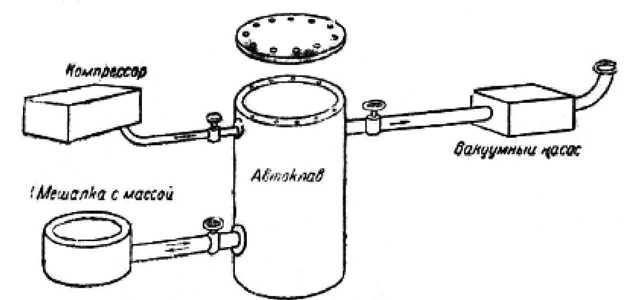
Крышка имеет противовес 7 для удержания ее в поднятом состоянии. В крышку вставлены термометры 6 для контроля температуры. В процессе сушки температура в печи поддерживается от 100 до 150° в зависимости от характера загруженных в печь деталей и типа лаков, которыми они пропитаны. Бывают печи, обогреваемые проволочными спиралями, через которые пропускается электрический ток. Такие спирали должны быть отгорожены от рабочего пространства печи сплошными перегородками, так как пары растворителей легко воспламеняются. В целях пожарной безопасности печи с электрическим подогревом нуждаются в усиленном отсосе воздуха из сушильной камеры, вследствие чего понижается их коэффициент полезного действия, так как большая часть тепла отсасывается вентилятором. Для тяжелых изделий применяют печи туннельного типа, у которых дверки находятся на уровне пола, и детали вдвигаются в печь на вагонетках. Такая печь с тремя камерами изображена на фиг. 100. Подогрев воздуха производится в парокалорифере 1, включенном в паровую сеть теплоэлектроцентрали. Нагретый в калорифере воздух прогоняется воздуходувкой 2 по трубопроводам 3 и поступает в верхнюю часть печи, как указано стрелками на фиг. 100. Отработанный воздух отсасывается трубами 4 из нижней точки печи и возвращается в калорифер. Дверки шкафа укреплены на тросах, перекинутых через изображенные на фигуре блоки, и уравновешиваются противовесами. Температура воздуха в печи поддерживается 90—110° С. В таких печах сушатся якоря и статоры больших машин. Пропитка обмоток в зависимости от размеров машины и наличия оборудования может производиться тремя способами: окраска кистью, покрытие пульверизатором и погружение в лак. Из этих способов для пропитки обмоток с целью проникновения пропиточного лака внутрь обмотки действительным является только третий способ, т. е. погружение горячей детали в лак.



Фиг. 100. Сушильная печь.

При этом процесс пропитки продолжается до прекращения выделения пузырьков воздуха, что и служит контролем над процессом пропитки и указывает на то, что весь воздух из обмотки вытеснен лаком. Окраска кистью и покрытие лаком при помощи пульверизатора может рекомендоваться только для покровных лаков, в задачу которых входит создание наружной лаковой пленки. В этом случае пропитка обмоток должна производиться до вкладывания их в пазы. Погружение якорей и роторов производится в вертикальном положении, коллектором вверх. Обмотанные статоры погружаются боковой стороной. Таким образом, для обслуживания разнообразных изделий требуется иметь баки с различными размерами. Например, для якорей требуется иметь узкие, но глубокие баки, а для статоров и катушек — мелкие, но широкие. Баки для пропитки представляют собой сварные сосуды из листов толщиной 3—8 мм в зависимости от размеров. Баки должны обогреваться для поддержания постоянной температуры лака. Кроме того, в пропиточной мастерской должны быть приборы для измерения температуры (термометры), удельного веса (ареометры) и вязкости лака (вискозиметры), а также посуда для смешения и растворения лаков. Наиболее сложным является оборудование для компаундирования обмоток. Оно состоит из автоклавов, т. е. массивных котлов, рассчитанных на давление до 6 ат. с тепловой изоляцией наружных стенок. К автоклаву требуется иметь ряд вспомогательных агрегатов, к которым относятся:

1) мешалка для разогрева и перемешивания массы;
2) вакуумный насос для создания разрежения в баке;
3) компрессор для создания давления.



Фиг. 101. Схема установки для компаундирования.

Насос и компрессор имеют привод от электродвигателей. Все агрегаты установки соединяются между собой трубами с встроенными в них кранами. Кроме того, автоклавная установка должна быть снабжена приборами для измерения температуры, разрежения и давления. Общее расположение агрегатов автоклавной установки изображено на фиг. 101.

87. РЕЖИМЫ СУШКИ И КОМПАУНДИРОВАНИЯ

При производстве работы по пропитке, сушке и компаундированию необходимо строго придерживаться даваемых в технологических инструкциях и предписаниях указаний как общего характера, касающихся правил обращения с оборудованием и подлежащими пропитке деталями, так и конкретных определяющих для данной обмотки: время сушки, номер лака и его свойства, температуру лака и сушильных печей и т. п. Необходимо записывать в журнал все производимые процессы с указанием времени загрузки и выгрузки деталей, сопротивления изоляции, температуры и т. п. Лаки должны обязательно иметь пробные анализы, сделанные лабораторией. При сушке пропитанных деталей происходят сложные химические и физические процессы, которые протекают правильно только при соблюдении всех технологических требований. Если обмотка недосушена, то сопротивление изоляции будет ниже нормы, но еще хуже, если она пересушена, т. е. подвергалась более высокой температуре или слишком долго была в сушильной печи. При этом лаковая пленка теряет свои упругие свойства, и срок службы изоляций резко сокращается. Это не может быть проверено приборами и поэтому является скрытым браком, сильно влияющим на качество машины в работе. Вот почему ко всем этим процессам необходимо относиться внимательно и добросовестно. Режимы сушки, пропитки и компаундирования в зависимости от многих условий могут быть очень различны. Поэтому ниже приводятся только в качестве примера режимы пропитки якоря и компаундирования полюсной катушки машины постоянного тока напряжением 220 В.

Сушка и пропитка якоря

1-я сушка. Температура 110—120° С. Минимальное время сушки 8 час. Минимальное сопротивление изоляции 3 Мом. Перед постановкой в печь якорь тщательно очистить от пыли, грязи, опилок, стружек, канифоли, масла, применяя тряпки, бензин и щетки. Укладку на тележку производить так, чтобы был обеспечен доступ горячего воздуха ко всем деталям. Просушив положенное время, измерить индуктором сопротивление изоляции и, если оно окажется ниже требуемого, сушку продолжать.
1-я пропитка. Немедленно после выемки из печи произвести пропитку. Якорь погрузить в лак № 447 и выдерживать до полного прекращения выделения пузырьков газа, но не менее 5 мин. Вязкость лака 2,4—2,7° по Энглеру при 50° С. Разбавитель для лака — смесь 40% бензола и 60% бензина. Допускается замена бензола толуолом и бензина уайт-спиритом в тех

же пропорциях. После пропитки положить якорь на подставку горизонтально для стока излишков лака и поворачивать его 3 раза на четверть оборота в течение 20 мин.

2-я сушка. Перед постановкой в печь протереть тряпкой, смоченной в уайт-спирите, концы валов, рабочую часть коллектора и обработанные места нажимных шайб. Якорь поставить в печь вертикально, коллектором вверх. Минимальное время сушки—12 час. Температура печи 110—120°С. Минимальное сопротивление изоляции 2 Мом. После сушки якорь отправить на бандажировку.

3-я сушка. Температура печи 110—120°С. Минимальное время сушки — 6 час. Минимальное сопротивление изоляции — 2 Мом. 2-я пропитка. Производится так же, как и первая.

4-я сушка. Производится так же, как и вторая.

Окраска и окончательная сушка. Окрасить якорь в горячем состоянии при помощи кисти или пульверизатора серой эмалью № 2205 и просушить в печи до отсутствия отлипа, но не менее 6 час. Окраске подвергается вся поверхность якоря за исключением бандажей и выступающей части манжеты коллектора.

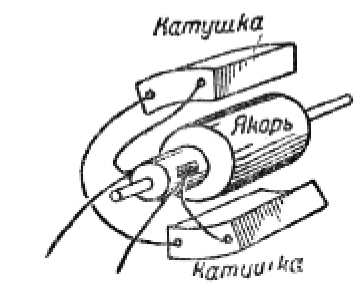
Компаундирование полюсных катушек

Компаундирование производится после намотки катушки и припайки выводных наконечников, но до изолировки катушки лентой, которая мешала бы проникновению компаундной массы внутрь катушки. Для стягивания витков катушки служит лишь временная лента, которой катушка обматывается встык. Процесс компаундирования заключается в следующем:

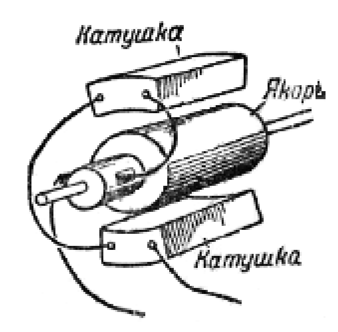
1. Загрузить катушки в автоклав и сушить при незакрытой крышке автоклава в течение 3 час.
2. Плотно затянуть болтами крышку автоклава, дать вакуум и сушить в течение 2 час.
3. Пустить в автоклав компаундную массу из мешалки, поднять давление в автоклаве до 6 ат. и выдержать давление в течение 5 час.
4. Выпустить компаундную массу из автоклава в мешалку и дать стечь массе в течение получаса, после чего открыть крышку автоклава и вынуть катушки.
5. Положить неостывшую катушку на верстак и снять временную ленту.
6. Испытать катушку на междувитковое замыкание. После компаундирования лента снимается вместе с наплывами компаундной массы, и катушка поступает в окончательную изолировку.

ГЛАВА ТРИНАДЦАТАЯ ИЗГОТОВЛЕНИЕ КАТУШЕК ВОЗБУЖДЕНИЯ
88. ПРИНЦИП ПОДБОРА ПРОВОДА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ШУНТОВЫХ КАТУШЕК

Электрические машины постоянного тока по системе возбуждения разделяются на шунтовые, сериесные и компаундные. У шунтовых машин катушки возбуждения включаются параллельно якорю (фиг. 102) и поэтому должны иметь большое сопротивление. Они наматываются из тонкой проволоки и имеют большое число витков. У сериесных машин катушки возбуждения включаются последовательно с якорем (фиг. 103) и через них проходит весь ток машины. Поэтому они должны иметь малое сопротивление и в машинах небольшой мощности изготовляются из толстой проволоки, а в больших машинах — из медных шин. Машины с компаундным возбуждением имеют и шунтовые и сериесные катушки, которые надеваются на одни и те же полюса. Иногда обе катушки имеют общую наружную изоляцию (фиг. 107). Назначение полюсных катушек заключается в том, чтобы создавать магнитный поток в машине. Намагничивающая сила катушки определяется числом ее витков и силой тока, который через нее протекает. В шунтовых машинах ток возбуждения составляет от 2 до 5% от общего тока машины. Этим определяется общее сопротивление всех катушек, которые между собой соединяются всегда последовательно. Зная сопротивление катушки и силу тока, которая через нее протекает, можно подобрать сечение меди, и тогда нетрудно определить число витков.



Фиг. 102. Схема шутовой машины.



Фиг. 103. Схема сериесной машины.

Для пояснения разберем такой пример. Шунтовая машина напряжением 230 В, мощностью 20 кВт имеет 4 полюса. Общая сила тока машины получится, если мощность в ваттах разделить на напряжение в вольтах:

$$I = 20000 / 230 = 87 \text{ А}$$

Ток возбуждения составляет 3% от общего тока, т. е.

$$I_в = 87 \times 3 / 100 = 2{,}6 \text{ А}$$

Катушки приключены параллельно к якорю, т. е. питаются от напряжения 230 В. Следовательно, сопротивление всех катушек по закону Ома:

$$R = 230 / 2{,}6 = 88{,}5 \text{ Ом}$$

Сопротивление одной катушки будет в четыре раза меньше:

$$r = 88{,}5 / 4 = 22{,}1 \text{ Ом}$$

Сечение медного провода для катушки при плотности тока 2 А/мм^2 будет:

$$S = 2{,}6 / 2 = 1{,}3 \text{ мм}^2$$

При таком сечении диаметр круглого провода $d = \sqrt{4 \times 1{,}3 / \pi} = 1{,}28$ мм.

В таблице стандартных размеров (табл. 1 см. приложение) находим ближайший диаметр 1,3 мм; сечение провода будет:

$$S = \pi \times 1{,}3^2 / 4 = 1{,}33 \text{ мм}^2.$$

Длина одного витка по размерам полюса будет приблизительно 46 см, или 0,46 м, а общая длина катушки по ее сопротивлению должна быть:

$$l = 22{,}1 \times 1{,}33 / 0{,}0175 = 1680 \text{ м}$$

где 0,0175 выражает удельное сопротивление меди. Следовательно, катушка должна иметь:

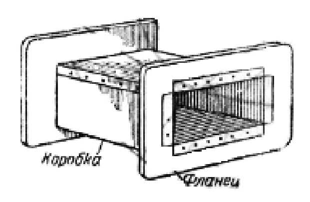
$$\omega = 1680 / 0{,}46 = 3650 \text{ витков.}$$

Намагничивающая сила катушки, как было сказано, определяется произведением силы тока на число витков; в данном случае она составит: 3650 × 2,6 = 9500 ампервитков.

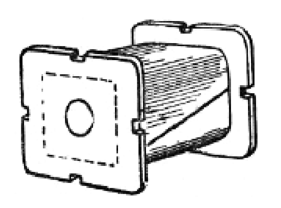
89. ПРОЦЕСС НАМОТКИ ШУНТОВЫХ КАТУШЕК

Шунтовые катушки встречаются в двух исполнениях: намотанные на каркас и намотанные на шаблон. Каркас представляет собой жесткую коробку, склепанную из листовой стали (фиг. 104). Пространство между фланцами предназначается для намотки витков катушки. Стенки каркаса, ограничивающие обмоточное пространство, изолированы фланцами из прессшпана и лентой. Таким образом, каркас служит в процессе намотки катушки формой, а

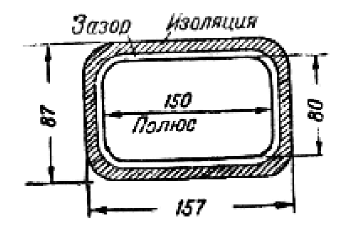
в процессе сборки и работы машины — защитой катушки от повреждения ее изоляции полюсом. Катушки на каркасе имеют два существенных недостатка: 1) пропитка и компаундирование катушек очень затруднены, так как сечение катушки с трех сторон ограничено непроницаемыми для лака стенками каркаса; 2) четвертая сторона катушки остается неизолированной снаружи, поэтому такая катушка не может быть выполнена с противосыростной или высоковольтной изоляцией.



Фиг. 104. Каркас для намотки катушек.



Фиг. 105. Шаблон для намотки.



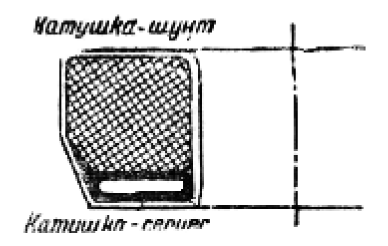
Фиг. 106. Определение размеров катушек.

Катушки, намотанные на каркасе, встречаются только в машинах старых конструкций. В современных машинах катушки наматываются на шаблон (фиг. 105). Шаблон состоит из сердечника, контур которого соответствует внутреннему окну намотанной катушки, и двух фланцев. Размеры окна определяются размерами полюса с прибавкой двустороннего зазора между катушкой и полюсом и двойной толщины изоляции катушки. Если, например, сердечник полюса имеет размеры 80 ×150 мм (фиг. 106), зазор между катушкой и полюсом— 1,5 мм, а толщина изоляции катушки — 2 мм, тогда ширина окна будет $80 + 2 \times 1,5 + 2 \times 2 = 87$ мм, а длина окна $150 + 2 \times 1,5 + 2 \times 2 = 157$ мм. Для удобства выемки из намотанной катушки сердечник шаблона составляется из двух клинообразных брусков, скрепленных с фланцами. Во фланцах делаются вырезы для закладывания перед намоткой катушки кусков ленты, которой витки катушки закрепляются перед снятием с шаблона для того, чтобы сечение катушки после снятия с шаблона сохраняло свою форму. Процесс намотки катушки производится в такой последовательности. Намотчик устанавливает шаблон на шпиндель намоточного станка и закрепляет на нем конец провода, который сматывается с бухты, надетой на вращающуюся стойку. Затем ставит счетчик оборотов станка на 0 и пускает станок. В процессе намотки в катушку вкладываются прокладки из тонкого прессшпана толщиной 0,1—0,2 мм. Эти прокладки перфорируются, т. е. в них пробиваются отверстия для того, чтобы прокладки не служили препятствием для проникновения пропиточных лаков и компаундной массы в середину катушки. Если катушка наматывается из тонкого провода диаметром меньше 0,5 мм, то витки катушки ложатся в беспорядке, заполняя обмоточное

пространство шаблона. При более толстой проволоке витки катушки укладываются правильными рядами. Для этой цели намоточные станки оборудуются подвижным суппортом, который через ролик водит провод вдоль сердечника шаблона вперед и назад. Для создания натяжения проволоки при намотке ее пускают через ряд стальных или фибровых роликов. После того, как счетчик оборотов покажет требуемое число витков катушки, намотчик останавливает станок, завязывает концы лент, скрепляющих катушку, открывает шаблон и снимает с него катушку. После намотки катушка проверяется на отсутствие межвиткового замыкания.

90. НАМОТКА КОМПАУНДНЫХ КАТУШЕК

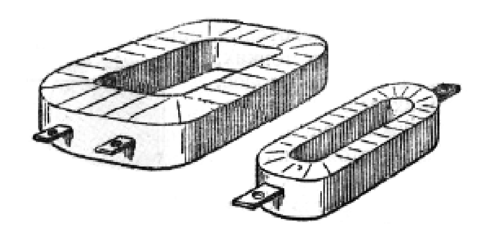
Компаундная катушка состоит из шунтовой и сериесной, которые наматываются раздельно, так как на их изготовление идет совершенно различная обмоточная медь. Шунтовая катушка наматывается из изолированной медной проволоки, а сериесная — из голых медных шин. Число витков сериесной катушки обычно невелико и редко превышает 10 витков. Часто встречаются катушки, состоящие всего из 1 или 2 витков. Взаимное расположение шунтовой и сериесной катушек, составляющих компаундную катушку, также бывает различное. В некоторых машинах сериесная катушка наматывается из тонких, но широких медных полос, занимающих всю высоту полюса, и служит как бы каркасом для шунтовой катушки. В других машинах сериесная катушка располагается под шунтовой и тогда служит для нее поддерживающим фланцем (фиг. 107). Для сериесной катушки, намотанной из голых медных шин, изоляцией между витками служат миканитовые прокладки, которые вкладываются между витками в процессе их намотки.



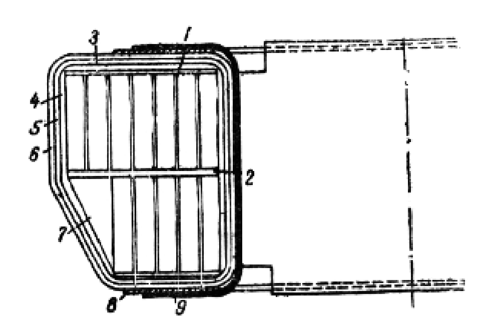
Фиг 107. Катушка-компаунд.

91. НАМОТКА КАТУШЕК ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОЛЮСОВ

Во всех современных машинах мощностью свыше 1 кВт кроме основных полюсов, называемых главными, имеются еще дополнительные полюса, которые располагаются в промежутках между главными. Таким образом, общее число полюсов удваивается. Когда говорят о числе полюсов машины, то имеют в виду только главные полюса, т. е. четырехполюсная машина с дополнительными полюсами всего будет иметь 8 полюсов. На дополнительные полюса также надеваются катушки, которые всегда включаются последовательно с якорем. Поэтому в машинах мощностью свыше 10 кВт сечение меди катушек дополнительных полюсов становится уже настолько большим, что намотку приходится производить из голых медных шин. Катушку дополнительного полюса по виду легко отличить от катушки главного полюса. У катушек главного полюса внутреннее окно катушки имеет форму прямоугольника с четырьмя углами; у катушки дополнительного полюса внутреннее окно представляет собой узкую щель со скругленными концами (фиг. 108). Катушки из голых шин с изгибом около широкой стороны сечения (плашмя) почти всегда выполняют в 2 этажа (фиг. 109), так как при четном числе этажей выводы катушки идут от наружных витков и не занимают дополнительного места. Внутри же катушки делается переход из одного этажа в другой. Оба этажа наматываются из одной непрерывной медной шины без спаек.



Фиг. 108. Форма катушек главного и дополнительного полюса.



Фиг. 109. Катушка, намотанная плашмя.
1—межвитковая изоляция—асбест; 2—изоляция между слоями, миканит; 3—прокладка—миканит; 4—киперная лента; 5— бумажно-слюдяная лента; 6—асбестовая лента; 7 - замазка; 8—прокладка - прессшпан; 9—каркас - листовая сталь.

Намотка катушки производится следующим образом: от бухты шинной меди отматывают конец, равный развернутой длине половины катушки, и делают перегиб шины на ребро в месте перехода из одного этажа катушки в другой. Отмотанный конец скручивается в ролик и закрепляется на шаблоне. Бухта устанавливается на вращающуюся конусную стойку, и производится намотка второго этажа катушки. В процессе намотки намотчик подкладывает под шину полоски миканита так, чтобы начало каждой следующей полоски перекрывало конец предыдущей. Ширина миканитовой полоски на 1 мм больше ширины меди. После намотки второго этажа последний виток прикрепляется к предпоследнему посредством жестяной скобочки, изолированной от витков миканитом. Концы скобочки запаиваются. Затем намотчик отрезает намотанную часть катушки от бухты, переворачивает оправку на станке, распускает отмотанный конец шины и производит им намотку первого этажа катушки тем же способом, как производилась намотка второго. Предварительно между этажами вкладывается миканитовый фланец, изолирующий их друг от друга. Таким образом, все витки катушки оказываются изолированными один от другого. Если катушка наматывается из шин, толщина которых больше 2 мм, то в месте перехода из одного этажа в другой производится сварка шин, и каждый этаж наматывается с бухты. После намотки катушка поступает в изолировку.

92. ИЗОЛЯЦИЯ КАТУШЕК

Катушки, намотанные на шаблон, изолируются по всему контуру изоляционными лентами. Внешняя изоляция катушек бывает класса А и класса В. Выбор класса внешней изоляции зависит от класса междувитковой изоляции. Если катушка намотана из обмоточного провода с изоляцией марки ПБД, то внешняя изоляция выполняется по классу А. Если же катушка намотана из медных шин с миканитовой изоляцией между витками, то внешняя изоляция должна быть выполнена по классу В. Изоляция класса А состоит из следующих материалов:
1) полотняная лента 1 раз вполуперекрышку;
2) ленты из лакоткани несколько раз вполуперекрышку (число раз зависит от напряжения машины);

3) киперная лента 1 раз вполуперекрышку. Изоляция класса В состоит из следующих материалов:

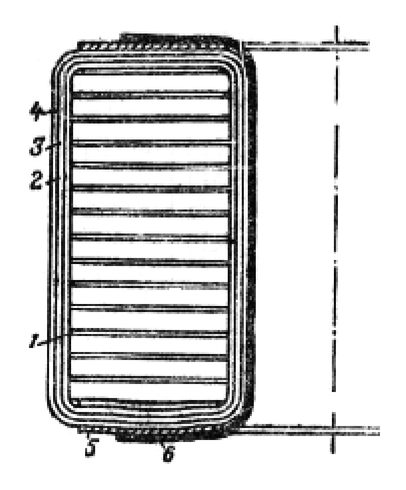
1) киперная лента 1 раз вполуперекрышку для стягивания витков катушки;

2) миканитовая лента несколько раз вполуперекрышку (число раз зависит от напряжения машины);

3) асбестовая лента 1 раз вполуперекрышку.

93. СПОСОБЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КАТУШЕК, ГНУТЫХ НА РЕБРО, И ИХ ИЗОЛИРОВАНИЕ

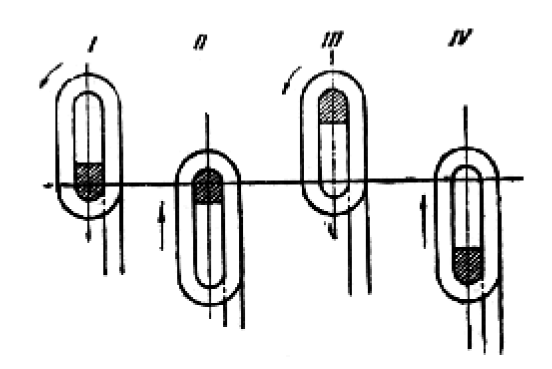
Катушки из шинной меди, которые были рассмотрены в § 91, гнулись около широкой стороны поперечного сечения. Такая намотка носит название намотки «плашмя».



Фиг. 110. Катушка, намотанная на ребро.

1—межвитковая изоляция - асбест; 2—киперная лента; 3—бумажно-слюдяная лента; 4— асбестовая лента; 5 прокладка — прессшпан; 6—каркас - листовая сталь.

Рассмотрим другой способ намотки катушек из шинной меди, который известен под названием намотки «на ребро» (фиг. 110). Известно, что для гибки всякой полосы на ребро требуется затратить значительно большее усилие, чем для гибки плашмя. Поэтому для намотки таких катушек применяются специальные станки, которые известны под названием Эрликон, по имени фирмы, которая их изготовляет. Эти станки имеют довольно сложное механическое устройство. Для того чтобы шина не коробилась при изгибе, она проходит через губки, которые сжаты с большим усилием. Станки Эрликон приспособлены только для намотки катушек дополнительных полюсов. Эти катушки отличаются от катушек главных полюсов тем, что у них один виток получается после двух перегибов шины на половину оборота, между тем как виток катушки главного полюса получается после 4 перегибов шины на одну четверть оборота. Особенность устройства станка Эрликон состоит в, том, что оба перегиба производятся вокруг одной и той же точки. Поэтому шаблон для намотки катушки на ребро не просто вращается вокруг своего центра, а совершает сложное движение, состоящее из поступательного по прямой линии и вращательного вокруг точки. Для пояснения разберем схему намотки витка (фиг. 111). На рисунке изображены 4 положения шаблона при намотке катушки на ребро, если смотреть на станок сверху. Для наглядности один конец шаблона заштрихован, другой оставлен белым. В положении I шаблон начинает поворачиваться вокруг центра своего заштрихованного конца, совершает пол-оборота и приходит в положение II.



Фиг.111. Схема намотки на станке Эрликон.

После этого вращательное движение приостанавливается и шаблон получает поступательное движение до тех пор, пока белый конец шаблона не займет то положение в котором был заштрихованный конец (положением III). После этого шаблон снова начинает вращаться и опять делает пол-оборота. При этом заштрихованный конец шаблона оказывается внизу. Затем опять происходит поступательное движение шаблона и, когда оно закончится, шаблон окажется в положении I, совершив один полный оборот. За это время наматывается один виток катушки. При намотке следующих витков движения шаблона совершаются в такой же последовательности, а намотанные витки смещаются по шаблону вверх, освобождая место для следующих, в нижней части шаблона. Таким образом, можно мотать длинную спираль независимо от числа витков в катушке, а потом резать ее на отдельные катушки. Изоляцией между витками служит асбест толщиной 0,3 мм, который вкладывается между витками в виде прямоугольных пластин, а потом обрезается по контуру снаружи и внутри катушки. Внешняя изоляция катушки выполняется по классу В так же, как и для катушек, намотанных плашмя.

ГЛАВА ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ ИСПЫТАНИЕ ОБМОТОК

94. СХЕМА ТРАНСФОРМАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ИЗОЛЯЦИИ НА ПРОБОЙ

В процессе изготовления обмотки несколько раз подвергаются испытаниям. Испытания имеют целью проверить прочность изоляции обмотки по отношению к корпусу и между витками. Эти испытания повторяются после каждой операции, во время которой имеется возможность повредить изоляцию. Благодаря промежуточным испытаниям неисправные обмотки удается обнаружить и исправить до того, как они поступят на следующие операции. Проверка изоляции по отношению к корпусу может быть произведена нормальным напряжением осветительной сети через контрольную лампу. Такой проверкой можно обнаружить только полное нарушение изоляции, т. е. прямое замыкание проводников обмотки с корпусом (контрольная лампа зажигается). Однако если лампа не зажглась, то это вовсе еще не значит, что изоляция в полной исправности. В ней могут быть слабые места, которые будут пробиты напряжением немного большим, чем нормальное рабочее напряжение машины. Такие слабые места могут быть обнаружены только повышенным напряжением, которое получается от специальной трансформаторной установки. Существуют специальные нормы, по которым выбирается испытательное напряжение для машины в собранном виде и для отдельных ее частей. Собранная машина мощностью свыше 1 кВт испытывается напряжением, которое равно двойному рабочему напряжению U плюс 1000 в. Это значит, что, если рабочее напряжение 220 В, то испытательное напряжение должно быть:

$$2 \times 220 + 1000 = 1440 \text{ В}$$

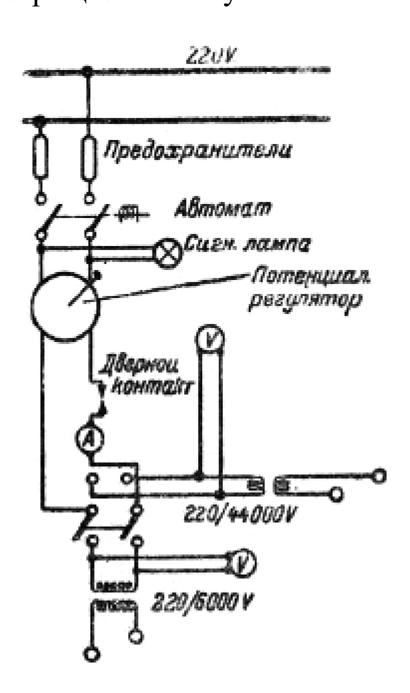
Для обмотанного якоря испытательное напряжение:

$$2{,}5\,U + 1500 = 2{,}5 \times 220 + 1500 = 2050 \text{ В}$$

Для собранного коллектора:

$$2{,}5\ U + 2000 = 2{,}5 \times 220 + 2000 = 2550\ В$$

Из сравнения этих цифр видно, что испытательное напряжение по мере готовности машины снижается, и имеет самое высокое значение для деталей машины. Это объясняется тем, что слабые места машины должны быть обнаружены в самом начале и не попадать на сборку, где они могут сорвать выпуск готовой машины. Схема испытательной установки изображена на фиг. 112. Она состоит из двух трансформаторов, каждый из которых имеет две обмотки, надетые на стальной сердечник. Обмотки низкого напряжения включены в сеть 220 В, а обмотки высокого напряжения имеют в несколько раз больше витков и могут давать напряжение 6000 В у одного трансформатора и до 44000 В у другого. Первый трансформатор служит для испытания низковольтных машин, а второй для испытания высоковольтных машин и изоляционных материалов. Напряжение регулируется потенциал-регулятором и указывается вольтметром, установленным на щите. Кроме того, на щите имеются сигнальные лампы, которые зажигаются при включении высокого напряжения и напоминают о том, что надо соблюдать меры предосторожности. Обмотка высокого напряжения каждого трансформатора при помощи шнуров в резиновых шлангах выведена на два контакта, которые укреплены на длинных деревянных палках. При испытании изоляции один контакт присоединяется к корпусу машины, а другой — к испытываемой обмотке. Если изоляция выдерживает испытательное напряжение, то стрелка вольтметра стоит на месте, если изоляция пробита, то стрелка возвращается на нуль.

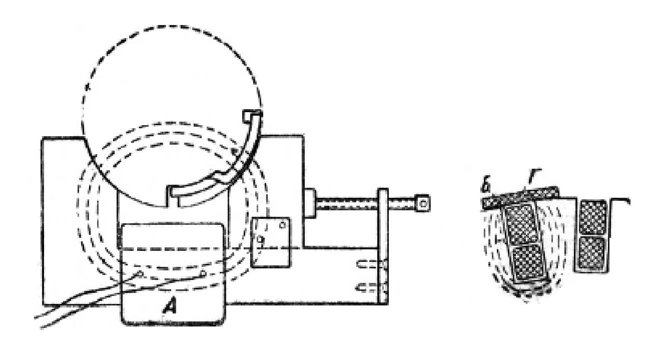


Фиг. 112. Схема испытательной установки.

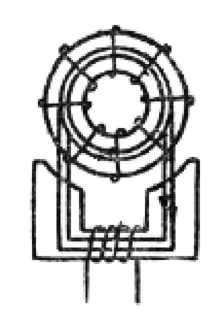
Место пробоя изоляции обнаруживается по дыму и искрению, которые в этом месте появляются. Причинами пробоя изоляции обычно являются или недоброкачественность самой изоляции, или механические повреждения ее стружками, опилками или острыми углами металлических частей, или неосторожное обращение с обмоткой при укладке в пазы, или транспортировке детали. Камера испытательной установки снабжается дверным контактом, который разрывает цепь при открывании двери и, таким образом, предотвращает опасность, угрожающую лицам, случайно входящим в камеру во время испытания.

95. СХЕМА ИСПЫТАТЕЛЬНОГО МАГНИТА ДЛЯ ПРОВЕРКИ ОБМОТКИ НА МЕЖВИТКОВОЕ ЗАМЫКАНИЕ.

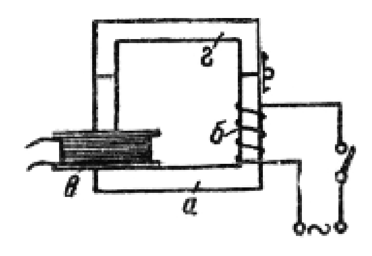
При испытании изоляции на корпус всегда имеются две точки, к которым надо приложить контакты от испытательного трансформатора. Гораздо сложнее обнаружить замыкание между витками обмотки, так как концы этих витков не выведены наружу. Поэтому для испытания обмоток на междувитковое замыкание существуют специальные приспособления, устроенные на различных принципах. Наибольшее разнообразие имеют испытательные установки для проверки на междувитковое замыкание обмоток якорей.



Фиг. 113. Испытательный электромагнит.



Фиг. 114. Схема испытательного электромагнита.



Фиг. 115. Магнит для испытания катушек.

На фиг. 113 представлен испытательный электромагнит для проверки якоря на межвитковое замыкание, а на фиг. 114 дана его схема. Электромагнит представляет собой два полюсных наконечника, соединенных сердечником, на который намотана катушка А, питаемая переменным током повышенной частоты. Если положить испытуемый якорь на наконечники магнита, то магнитный поток будет замыкаться через якорь, а в проводниках обмотки якоря будет индуктироваться электродвижущая сила. Таким образом, в якоре происходят те же процессы, что и при вращении сто в собранной машине, с той лишь разницей, что отсутствие вращения заменяется перемагничиванием благодаря переменному току в катушке магнита.

Если в обмотке нет междувитковых замыканий, то все электродвижущие силы уравновешиваются. При наличии же в какой-нибудь секции Б короткозамкнутых витков в них будет протекать ток большой силы, от которого они будут сильно нагреваться, а в зубцах, ограничивающих пазы с замкнутой секцией, будет создаваться сильный магнитный

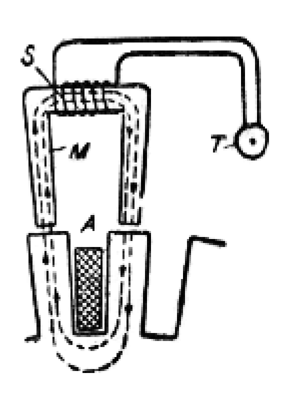
поток. Этим явлением пользуются для обнаружения неисправной секции. Обводя окружность якоря стальной пластинкой Г, замечают те зубцы, у которых она сильно притягивается и дребезжит от переменного потока. Эти пазы помечают мелом, и якорь отправляют в ремонт. На таком же принципе строятся испытательные машины для проверки на междувитковые замыкания полюсных катушек (фиг. 115). Катушка *в* с разомкнутыми выводными концами надевается на сердечник *а* магнита и сверху накрывается якорем *г*, образующим замкнутый контур для магнитного потока. Если в катушке есть замкнутые витки, то в них потечет ток большой силы, отчего произойдет увеличение силы тока в катушке *б* самого электромагнита. О наличии короткозамкнутых витков узнают по отклонению стрелки амперметра и по нагреванию испытуемой катушки.

96. ПРОВЕРКА ОБМОТКИ ПРИ ПОМОЩИ ТЕЛЕФОННОЙ ТРУБКИ

Более точно можно обнаружить витковое замыкание в секциях якоря, если вместо стальной пластинки пользоваться подковообразным сердечником с обмоткой, приключенной к телефонной трубке (фиг. 116). Это особенно важно в тех случаях, когда катушка испытательного магнита питается переменным током не повышенной, а нормальной частоты, и действие короткозамкнутых витков проявляется не так сильно. Таким сердечником обходят весь якорь, постепенно поворачивая его на испытательном магните, и слушают в телефонную трубку. При отсутствии витковых замыканий в трубке слышится равномерное гудение. Если же в каком-нибудь пазу имеется секция с короткозамкнутым витком, то в телефонной трубке послышится резкий звук в тот момент, когда сердечник встанет над этим пазом.

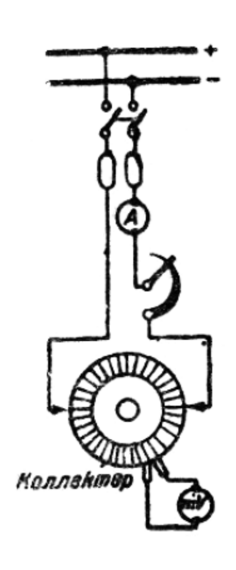
97. СПОСОБ МИЛЛИВОЛЬТМЕТРА ДЛЯ ПРОВЕРКИ ОБМОТКИ

Проверка обмотанного якоря на испытательном магните хороша тем, что она позволяет быстро определить междувитковое замыкание в секциях. Но этот способ имеет и свои недостатки. Для якорей разного диаметра надо иметь соответствующие им полюсные наконечники, которые обычно делаются сменными при одном том же сердечнике.



Фиг. 116
А – паз с обмоткой; М – подковообразный сердечник;
S – обмотка сердечника; Т – телефонная трубка.

Для тяжелых якорей большого диаметра этот способ неприменим. Кроме того, испытательный магнит не дает возможности определить неправильное присоединение концов обмотки к коллектору (перекрещивание концов), а также обрывы в обмотке и плохую припайку концов обмотки к петушкам коллектора. Поэтому для якорей больших и ответственных машин применяется другой способ проверки, который носит название «способ милливольтметра».



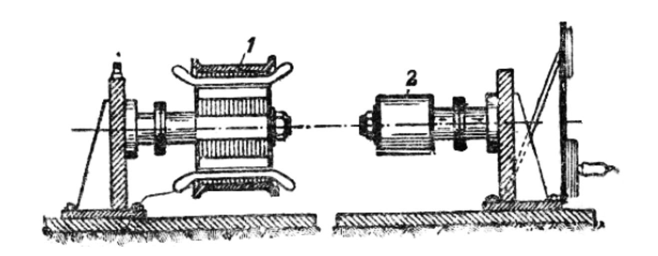
Фиг. 117. Способ милливольтметра.

Этот способ заключается в следующем: к коллектору подводится постоянный ток, сила которого регулируется реостатом (фиг. 117). При петлевой обмотке ток может быть подведен к двум диаметрально противоположным точкам коллектора, а при волновой обмотке — к двум точкам коллектора, отстоящим одна от другой на величину полюсного шага. Затем берут милливольтметр и присоединяют его поочередно к каждой паре смежных коллекторных пластин, обходя, таким образом, весь коллектор. Показания милливольтметра записываются. Если в обмотке нет никаких дефектов, то все показания милливольтметра будут почти одинаковы, отличаясь одно от другого на 1—2 деления. Если отдельные показания милливольтметра окажутся намного больше, чем все остальные, это будет означать, что между данными коллекторными пластинами имеется обрыв обмотки или плохой контакт в местах пайки. Если отдельные показания милливольтметра будут намного меньше, чем остальные, то в данной секции имеются короткозамкнутые витки или замыкания между коллекторными пластинами. Наконец, если стрелка милливольтметра при измерении напряжения между двумя коллекторными пластинами отклонится в противоположную сторону, значит, концы секции перекрещены. Таким образом, хотя способ милливольтметра и требует больше времени и внимания при проверке обмотки, но зато он дает полную гарантию, что любая неисправность обмотки будет обнаружена, что и является его преимуществом перед другими способами.

98. ПРОВЕРКА ТРЕХФАЗНЫХ ОБМОТОК НА МЕЖДУКИТКОВОЕ ЗАМЫКАНИЕ

Для проверки обмоток статора на междувитковое замыкание чаще всего пользуются следующим способом. Статор 1 (фиг. 118) надевается на стальной цилиндр 2, диаметр которого равен диаметру ротора. Этот цилиндр укреплен горизонтально на оправке, конец которой заделан в специальную стойку. Назначение цилиндра состоит в том, чтобы служить магнитопроводом для силовых линий магнитного потока, создаваемого проводниками обмотки статора при испытании. Обмотка статора подключается к сети нормальной частоты. Амперметром, снабженным специальным переключателем, замеряют силу тока во всех трех фазах обмотки. Если в обмотке нет витковых замыканий и соединение фаз произведено правильно, то сила тока во всех трех фазах будет одинаковая. При наличии виткового замыкания появляется сильное гудение, нагрев обмотки, дым и запах горелой изоляции.

Вместо специального цилиндра можно пользоваться самим ротором, который вставляется в статор без подшипниковых щитов. После измерения тока в фазах статора проверяют напряжение между кольцами ротора. Одинаковое напряжение между всеми кольцами, взятыми попарно, указывает на то, что соединения роторной обмотки выполнены правильно и междувитковые замыкания отсутствуют.



Фиг. 118. Проверка обмотки статора на межвитковое замыкание.

ГЛАВА ПЯТНАДЦАТАЯ РЕМОНТ ОБМОТОК

99. ХАРАКТЕР РЕМОНТНЫХ РАБОТ

Наряду с выполнением обмоток новых машин в практике всякой обмоточной мастерской бывают случаи ремонта и перемотки старых машин, на которые на заводе нет чертежей и схем. Такие работы являются для обмотчика наиболее трудными, так как кроме производственных навыков требуют теоретических знаний. Кроме того, при восстановлении обмотки приходится производить весь технологический процесс обмотки, который при серийном производстве расчленен на многие операции, выполняемые рабочими различных профессий и даже в различных цехах. Наибольшую ответственность накладывает на обмотчика ремонт крупных машин с выездом на место их установки. Такие работы поручаются только опытным обмотчикам высокой квалификации.

100. РЕМОНТ ОТДЕЛЬНЫХ СЕКЦИЙ

Если обмотка требует ремонта или смены одной секции, то во всякой двухслойной обмотке для этого необходимо поднять из пазов число секций, занимающих шаг обмотки по пазам. При этом почти всегда приходится заменять пазовую изоляцию, которая разрушается при выемке секций из пазов. Для этого надо тщательно замерить толщину изоляции и определить сорт примененных для нее материалов, которые должны быть заменены равноценными. Например, если вместо миканита положить в паз лакоткань, то снизится допускаемый предел нагрева обмотки. Если же миканит заменить прессшпаном, то снизится и электрическая прочность изоляции. Все новые изоляционные материалы должны быть обязательно пропитаны, чтобы снизить их гигроскопичность и увеличить теплостойкость. Если при ремонте удается сохранить старую обмоточную медь, то все же обычно приходится восстановить обмотку провода, которая разрушается при выемке секций из пазов. Для этого надо воспользоваться тонкой перкалевой или батистовой лентой, чтобы толщина не была больше старой. При изготовлении новых секций надо применять обмоточный провод такого же сечения. Уменьшение сечения провода вызовет повышенный нагрев этих секций и преждевременный выход из строя. Для более легкого извлечения секций из пазов надо предварительно разогреть ремонтируемый статор или якорь.

101. ПОЛНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ОБМОТКИ

При полном восстановлении обмоток необходимо при размотке ремонтируемой обмотки снять с нее все необходимые данные, которые потребуются для изготовления новой обмотки. Эти данные заключаются в следующем:

1. Род обмотки.
2. Число пазов.
3. Число проводников в пазу.
4. Размеры проводников и род изоляции.
5. Шаг обмотки по пазам.
6. Схема соединения обмотки.

7. Размеры паза.
8. Длина сердечника.
9. Шаг обмотки по коллектору (для якорей).
10. Схема укладки секции.
11. Вылет лобовых частей.
12. Развернутая длина секции.
13. Изоляция секции.
14. Изоляция обмоткодержателей.
15. Число и размеры бандажей.
16. Число витков в бандаже.
17. Диаметр бандажной проволоки.
18. Число, размеры и расположение скобочек.
19. Шаг уравнительных соединений (если они имеются), сечение провода и изоляция.
20. Размеры, форма и материал пазовых клиньев.

Все эти данные должны быть аккуратно записаны в форме схем и таблиц. Затем по наиболее сохранившейся секции устанавливают размер шаблона, изготовляют пробные секции, примеряют их по пазам и затем изготовляют весь комплект секций. После изолировки и пропитки секции вкладываются в пазы, и восстанавливается их соединение согласно схеме.

После сушки и пропитки ремонтируемая машина собирается и проверяется сначала вхолостую, затем под нагрузкой согласно ее паспортным данным.

ГЛАВА ШЕСТНАДЦАТАЯ ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

102. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Каждый рабочий цеха должен знать основные правила, которые нужно соблюдать для того, чтобы обеспечить свою собственную безопасность и безопасность окружающих лиц. Снижение количества несчастных случаев на производстве является одним из качественных показателей работы цеха. Причинами травматизма могут являться неисправность или неправильное обращение со станками, грузоподъемными механизмами, электротехническими установками, а также несоблюдение правил пожарной безопасности, причем в последнем случае помимо повреждений, наносимых личному составу цеха, может быть причинен большой ущерб производству, если огонь вовремя не будет локализован. Поэтому перед допуском к работе каждый рабочий должен быть ознакомлен с правилами по технике безопасности на заводе и особенно в том цехе, где он будет работать. Правила техники безопасности и противопожарной безопасности в цехах зависят от условий работы и производящихся технологических процессов. В этом отношении производство обмоток электрических машин значительно опаснее, чем металлообрабатывающие цехи. Производство обмоток электрических машин связано с применением различных лаков и растворителей, пары которых ядовиты и взрывоопасны, а сами растворители являются легковоспламеняющимися веществами. В то же время производство обмоток связано с применением открытого огня и различных нагревательных приборов для целей пайки, сушки, расплавления припоев и т. и. Транспортирование обмотанных изделий также связано с определенными трудностями, так как помимо надежного закрепления изделия необходимо еще предохранять обмотку от повреждения подъемными канатами. В этой книге рассматриваются только общие правила техники безопасности и противопожарной охраны при различных процессах обмотки электрических машин, так как подробные правила могут быть составлены только применительно к условиям работы в данном цехе, и с ними учащиеся ремесленных училищ должны быть ознакомлены на производстве. Ниже рассматриваются требования техники безопасности при работе на намоточных, бандажировочных и других станках, в обмоточных, пропиточных и изоляционных цехах, при транспортировке тяжелых изделий и работе с электротехническими установками, находящимися под напряжением.

103. РАБОТА НА СТАНКАХ

К самостоятельной работе на станках могут допускаться только обученные рабочие. Вращающиеся части (шестерни, шкивы) должны закрываться специальными щитами, кожухами или решетками. Женщины должны быть с повязанной головой во избежание попадания пряди волос во вращающиеся части станка, что приводит к тяжелым увечьям. При намотке катушек и бандажей надо остерегаться, чтобы пальцы руки не попали под наматываемую проволоку. При намотке катушек из тонкой проволоки на быстроходных станках необходимо пользоваться защитным стеклом или предохранительными очками, так как при обрыве катушки конец проволоки может хлестнуть по глазам. При бандажировке необходимо прочно установить якорь в центрах станка и надежно запереть заднюю бабку станка, так как иначе натяжение бандажной проволоки может вырвать якорь из центров, и он упадет на ноги. Следует остерегаться захватывания частей одежды вращающимися деталями станка (особенно поводковым хомутиком и планшайбой). Рукава следует заматывать лентой, чтобы они плотно охватывали руку.

104. РАБОТА В ОБМОТОЧНЫХ ЦЕХАХ

При укладке обмоток в пазы надо правильно держать рабочие инструменты и быть внимательным, чтобы не ударить молотком по руке. При резке ножами изоляционных материалов надо всегда производить резку от себя, чтобы не поранить руку. При работе на рычажных ножницах, особенно при резке мелких деталей, надо обязательно пользоваться прижимной планкой, а не держать материал рукой, так как при этом легко можно отрубить палец. Роликовые опоры, на которые устанавливается якорь при обмотке, должны легко вращаться и оси их должны смазываться, так как при заедании ролика обмотчик во время поворачивания якоря может вытащить его из опор, и якорь упадет на ногу. Особую осторожность надо проявлять при пайке. При неосторожном обращении можно обжечь руку паяльником или расплавленным припоем. Если пайка производится электрическим дуговым паяльником, то надо обязательно надевать сварочные очки с цветными стеклами. Вольтова дуга даже при недолговременном влиянии на глаза вызывает сильный воспалительный процесс, который начинает чувствоваться не сразу, а через несколько часов. В местах, где производится пайка с открытым огнем (паяльные лампы, газовые паяльники), должны стоять огнетушители и ящики с сухим песком.

105. РАБОТА В ПРОПИТОЧНЫХ ЦЕХАХ

Пропиточные цехи являются наиболее опасными в отношении пожара, так как в них имеются значительные количества легковоспламеняющихся жидкостей. Всякий открытый огонь, даже зажженная спичка, может вызвать воспламенение. Поэтому курение в пропиточных цехах должно быть категорически воспрещено. Для уменьшения концентрации в воздухе паров растворителей, повышающих пожарную опасность и вредно действующих на организм людей, в пропиточных должна быть усиленная вентиляция. Для тушения пожара должны быть ящики с леском и лопаты. Трубопроводы компаундировочных установок, находящиеся под давлением, должны быть проверены на прочность и плотность стыковых соединений. Электрическая проводка в помещении пропиточных должна удовлетворять специальным нормам, т. е. два провода должны быть проложены раздельно, а не скручены вместе, так как короткое замыкание между проводами вызывает загорание изоляции. Выключатели должны быть расположены снаружи, так как при отключении они дают искру.

Все операции по смешению и растворению лаков должны выполняться в точном соответствии с инструкциями. Работники пропиточной должны выполнять все правила санитарной гигиены при обращении с едкими растворителями во избежание разъедания кожи рук. От частого употребления бензина для мытья рук кожа обезжиривается и

становится очень восприимчивой к различным кожным заболеваниям. Поэтому после мытья в бензине следует смазывать руки жиром или вместо бензина пользоваться специальным мылом.

106. ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПОДЪЕМЕ ГРУЗОВ

Все наиболее тяжелые грузы — крупные якоря, большие станины — должны заштропываться специальными рабочими — штропальщиками. Подъем деталей меньшего веса может производиться и самим обмотчиком, причем необходимо соблюдать следующие правила:

а) подъем грузов должен производиться только на испытанных штропах, снабженных биркой с указанием предельного груза, который можно на них поднимать;

б) не стоять самому и не позволять другим находиться под поднятым грузом;

в) не оставлять груз на продолжительное время поднятым на кране;

г) при установке груза на специальные подставки, стеллажи или козлы, проверять их прочность и устойчивость.

В некоторых случаях пользоваться простыми штропами не представляется возможным и приходится применять специальные приспособления, которые в то же время дают возможность значительно экономить время на транспортировку. Например, для перевозки на кране машин с малыми подъемными ушками применяются специальные крючья, нанизанные на кольцо. Крючья зацепляются за подъемные ушки машины, а кольцо надевается на крюк крана. Для вертикального погружения в пропиточный бак якорей и для пайки коллекторов делаются специальные ушки с гайкой, которая навинчивается на резьбу конца вала. Таким образом, якорь, подвешенный за верхнюю точку, оказывается в устойчивом равновесии и поверхность его не портится штропами.

107. ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ

Все электрические испытания должны производиться на специальном огражденном месте, называемом стендом. Доступ на стенд лиц, не имеющих отношения к испытаниям, запрещен. Стенд должен быть снабжен сигнальными лампами, зажигающимися при включении высокого напряжения, и специальными предостерегающими надписями: «Осторожно, высокое напряжение». Напряжение ниже 3000 В может подаваться на место работ, если испытываемое изделие нельзя доставить на стенд. В этом случае место испытания и вся линия, по которой подается напряжение со стенда, должны ограждаться специальным шнуром яркой окраски, и за это ограждение никто не должен допускаться, кроме лиц, производящих испытание. На месте испытания устанавливается сигнальная лампа, зажигающаяся при включении напряжения. При различных проверках напряжением силовой сети 220 В через лампу, надо также соблюдать меры предосторожности, так как и это напряжение может привести к смертельным поражениям. Нельзя касаться неизолированных токонесущих частей провода голыми руками, особенно опасно браться за голый провод мокрыми руками, стоя на металлической плите или на сыром полу. При таких испытаниях надо становиться на резиновый коврик или надевать галоши. Изоляция провода должна быть вполне надежная. Поражение током вызывает конвульсивное сжатие мышц, причем пострадавший не в силах оторвать руку от провода. В этих случаях никогда не следует стараться оттащить его, берясь руками за его тело, так как при этом создается параллельная цепь, и сила тока, проходящая через пострадавшего, увеличивается. Надо, прежде всего, отключить ток или приподнять пострадавшего над полом, взяв его за части одежды и не, касаясь тела, подложить под него резиновый коврик или сухую тряпку. После освобождения от действия тока, если пострадавший находится в бесчувственном состоянии, надо сделать ему искусственное дыхание. Если при поражении током на теле имеются обожженные места, то их надо немедленно смазать чистым жиром. Можно применять чистое трансформаторное

масло, которое утоляет боль и способствует быстрому заживлению обожженных мест.

ГЛАВА СЕМНАДЦАТАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА И ТРУДА

108. РАЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОЧЕГО МЕСТА

Организация и обслуживание рабочего места оказывают огромное влияние на производительность труда, качество продукции и ее себестоимость, а также условия труда. Организация рабочего места в работах, связанных с изготовлением обмоток электрических машин, имеет особо важное значение. Требование чистоты рабочего места является совершенно необходимым условием для обеспечения высокого качества продукции. Пыль и грязь, попадающие на изоляционные материалы, резко снижают их пробивное напряжение; ничтожная стружка, попавшая в обмотку, вызывает пробой изоляции. Поддержание рабочего места в чистоте зависит не только от организации технологического процесса, но и от самих рабочих. Например, нельзя допускать, чтобы работы, связанные с опиловкой, производились на том же рабочем месте, где лежат секции обмотки или изоляционные материалы, так как иначе трудно избежать попадания опилок в изоляцию. С другой стороны, сами обмотчики должны постоянно заботиться о том, чтобы их рабочие места всегда были в порядке, секции лежали на специальных чистых столиках, изоляционные материалы — в шкафчиках и в отдельных коробочках и т. д. Необходимым условием является, чтобы у обмотчика под руками находился шланг от сети сжатого воздуха, которым продуваются якоря перед закладыванием обмотки, а также верстаки перед началом работы и после ее окончания. Обязанностью руководителей цеха является прививать эти навыки рабочим, особенно начинающим и ученикам, так как, если у обмотчика не выработалась привычка к чистоте и аккуратности, то его работу нельзя считать полноценной, даже если брак его продукции и не превосходит нормы. Ранее уже говорилось, что в обмоточных работах кроме явного брака бывает еще скрытый брак, который хотя и проходит как годная продукция, но по существу представляет собой худший вид брака, так как обладающая им машина через некоторое время после выпуска с завода выходит из строя. Рациональная организация рабочего места в отношении заготовки, выдачи и хранения различного рода основных и вспомогательных материалов: обмоток меди, изоляционной ленты, олова, лаков, канифоли и т. д. резко сокращает их расходование, позволяет установить нормы расхода и учет, что в свою очередь ведет к снижению себестоимости продукции. В этом отношении производство обмоток электрических машин отличается от других отраслей машиностроительной промышленности тем, что оно требует большего количества дорогих и дефицитных материалов, стоимость которых занимает большой процент в общей себестоимости продукции.

109. ОСНАЩЕНИЕ РАБОЧЕГО МЕСТА

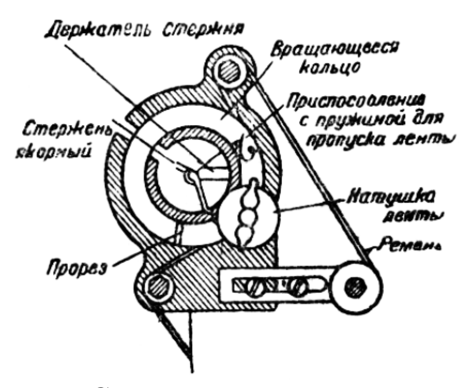
Оснащение и планирование рабочего места в значительной степени зависят от характера производства. Так, в ремонтных мастерских, где производится ремонт и перемотка якорей, статоров, роторов и катушек возбуждения, обмотчику приходится выполнять работу по перемотке отдельных изделий, причем в его обязанности входит многообразный ряд операций, начиная от обнаружения места повреждения и до сдачи отремонтированного якоря. Наоборот, в условиях серийного производства на заводе, где из месяца в месяц производятся одни и те же машины, работы по выполнению различных обмоток разделены на отдельные операции и производятся в разных мастерских. Более того, даже в мастерских, где производятся, по существу, однотипные операции, как, например, укладка секций в пазы, рабочие специализируются по отдельным видам обмоток. Организационно сама мастерская разбивается на отдельные участки, одни из которых занимаются обмоткой статоров, другие — стержневой обмоткой роторов, третьи — обмоткой якорей и т. д. Это объясняется тем, что различные участки требуют рабочих различной квалификации, и наибольшая производительность труда достигается при специализации обмотчиков на определенных

работах. Опыт стахановского движения на обмоточных работах показал, что пути повышения производительности труда лежат в максимальном разделении работ на отдельные операции, выделении различных заготовительных работ, выполняемых вспомогательными работами, и т. п. Рассмотрим для примера процесс изготовления и укладки в пазы стержневой обмотки якоря. Она проходит следующие операции в различных мастерских (табл. 1). Из данной таблицы видно, что обмотка якоря производится на 10 специализированных участках и обнимает 25 операций, причем в таблице эти операции приведены в сводном виде, и каждая из них состоит еще из многих составляющих операций.
Оснащение рабочих мест зависит от характера выполняемых на них работ. Например, оснащение рабочего места изолировщиц, занятых на клейке миканитовых лент, очень несложно. Они должны иметь удобные табуретки и хорошее освещение. Из приборов требуется только микрометр с циферблатом и стрелкой для измерения толщины материалов и изготовляемой продукции. Рабочее место слесарей, занятых формовкой шинных секций, также несложно. Из инструментов требуются: деревянные молотки, зубила ручники. В крупносерийном производстве для рубки меди на куски требуемой длины применяются специальные станки. Принцип работы такого станка заключается в том, что конец шины захватывается специальными клещами, которые двигаются вдоль станины при помощи цепной передачи. Когда клещи пройдут путь, равный требуемой длине стержня, шина перерубается специальным ножом, клещи возвращаются в исходное положение, снова захватывают конец шины и отмеряют следующий кусок той же длины. Формовка секций при мелкосерийном производстве выполняется на комбинированных приспособлениях. Для машин, идущих в большом количестве, для каждого якоря изготовляются специальные формы, носящие название горбыли, на которых производится формовка целой секции. Изолировка стержней и секций лентами может производиться вручную; тогда все оборудование изолировщиц состоит в деревянных тисках с пружинным зажимом для изолируемых стержней. Значительно большую производительность можно получить от специальных изолировочных станочков (фиг. 119), в которых ролик с лентой вертится вокруг секции, а изолировщица производит только продольное перемещение стержней или секций, обеспечивающее требуемое перекрытие предыдущих слоев ленты последующими.

Таблица 1

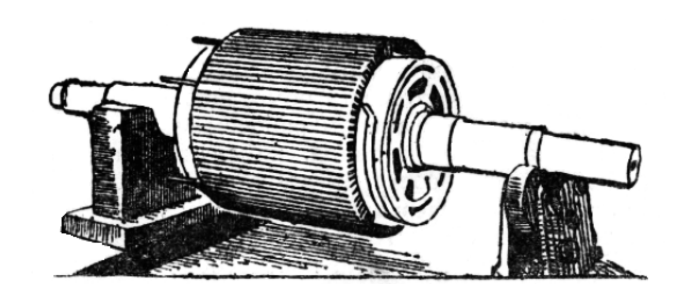
№ по порядку	Наименование мастерских	№ операции	Наименование операций
1	Изоляционная мастерская	1 2 3	Изготовление миканитовой ленты Наклейка чешуек слюды на бумагу Сушка полотна и свертывание в рулоны Резка рулонов на ленту
2	Секционная мастерская (слесарный участок)	4 5 6 7 8	Формовка секций Правка и рубка шин Загибка головок Зачистка и лужение концов Выгибка лобовых частей. Формовка собранных секций
3	Секционная мастерская (изолировочный участок)	9 10 11 12 13	Изолировка секций Изолировка пазовых и лобовых частей проводников секций бумажно-слюдяной лентой. Изолировка головок и перегибов проводников секций шелкослюдяной лентой Склеивание проводников и опрессовка пазовых частей секций Наружная изолировка секций Сушка и окончательная опрессовка секций

4	Обмоточная мастерская (заготовительный участок)	 14 15 16 17	Подготовка к обмотке Резка изоляционных материалов Изолировка обмоткодержателей Чистка и лакировка пазов Разметка якорей под обмотку
5	Обмоточная мастерская (участок обмотки якорей)	 18 19 20	Обмотка якоря Укладка секций в пазы Пайка концов обмотки с петушками коллектора Временная бандажировка
6	Пропиточная мастерская	21	Сушка и пропитка якоря
7	Обмоточная мастерская (бандажировочный участок)	22	Бандажировка якоря
8	Обмоточная мастерская (токарный участок)	23	Окончательная обточка и продороживание коллектора
9	Пропиточная мастерская (отделочный участок)	24	Окончательная отделка якоря, лакировка изоляционных поясков и покрытие эмалью наружной поверхности якоря
10	Обмоточная мастерская (балансировочный участок)	25	Балансировка якоря



Фиг. 119. Станок для изолировки секции.

Оборудование обмоточного цеха состоит из стоек для установки якорей в процессе обмотки и оснащения рабочего места обмотчика. Как было сказано ранее, якорь в процессе изолировки обмоткодержателей и укладки секций в пазы подвергается многократному поворачиванию вокруг своей оси. Поэтому верхняя часть стоек должна представлять собой нечто вроде подшипника для шеек вала, которыми он опирается на стойки. Ранее для этой цели применялись деревянные бруски с выдолбленными лунками. На поворачивание тяжелого якоря в таких подшипниках приходилось затрачивать большие усилия, которые утомляли обмотчика и снижали производительность его труда. Поэтому в современных обмоточных цехах верхняя часть стоек представляет собой два медных ролика (фиг. 120), оси которых вращаются в металлических щеках. Благодаря этому значительно экономится усилие для поворачивания якоря. При изолировке обмоткодержателей якорь приходится поворачивать несколько раз в зависимости от числа оборотов изоляционной ленты.



Фиг. 120. Роликовые споры для якорей.

Для этого в обмоточной мастерской должны быть специальные рукоятки, с хомутами, зажимающими конец вала. Вращение рукоятки производится подсобным рабочим, а обмотчик направляет изоляционную ленту и подкладывает под нее прокладки. Для хранения инструмента в верстаке должны быть ящики. Для размещения инструмента, секций и вспомогательных материалов в процессе обмотки якоря должны быть приспособлены легкие переставные столики, устанавливаемые в непосредственной близости от обмотчика. Инструмент обмотчика может быть разбит на две группы. В первую группу входит инструмент, находящийся постоянно в его распоряжении и хранящийся в его инструментальном ящике; ножницы, ножи, плоскогубцы, острогубцы, ручники стальные, свинцовые и деревянные, бородки, фибровые и деревянные клинья, прокладки и т. п. Во вторую группу входит инструмент, который обмотчик получает в раздаточной при необходимости. Сюда относятся: пневматические молотки для забивки деревянных клиньев, специальные ножницы для резки металла, дрели, паяльные лампы и т. п. Наконец, на рабочем месте у обмотчика должен находиться вспомогательный материал, применяемый при работе: клей, шпагат, изоляционная лента, парафин, канифоль и т. п. Такова общая характеристика рабочего места обмотчика. В зависимости от характера изделий, построения технологического процесса, использования рабочей силы на том или ином обмоточном участке зависит и степень оснащенности рабочего места обмотчика. При узкой специализации, когда на данном рабочем месте выполняется одна какая-либо операция, номенклатура необходимых средств производства естественно сокращается. Наоборот, при универсальном использовании рабочего места требуется соответственно более богатый набор разнообразного инструмента, приспособлений и т. п.

110. ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО МЕСТА

В зависимости от веса и габаритов изделий обмотка может выполняться либо на рабочем верстаке, либо на специальной обмоточной площадке. В первом случае верстак используется и как рабочая площадка, и как место для хранения инструмента, чертежей, схем и вспомогательных обмоточных материалов. Во втором случае вся работа сосредоточивается на обмоточной площадке, а на верстаке складываются идущие в работу обмотки и прочие детали, а также выполняются вспомогательные операции. Для установки изделия в удобное для работы положение рабочее место снабжается различного рода держателями в виде простых или специальных устройств, облегчающих повороты изделия в процессе работы в нужное положение. На площадках для обмотки крупных изделий применяются массивные деревянные тумбы и стелюги. При обмотке особо крупных изделий (например, роторов турбогенераторов) на площадке у изделия устраивают специальные помосты, облегчающие обмотчику доступ к любым участкам изделия. Так как вращение этих изделий вручную отнимает много времени и сил, то применяются специальные приспособления с моторным приводом. Основная задача всех указанных приспособлений и сооружений заключается в том, чтобы обеспечить обмотчику в процессе работы удобную установку изделия в требуемое положение, соответствующее его росту, и тем самым сохранить его силы и избежать ненужных затрат времени, связанных с лишними движениями. Работа в неудобном, согнутом или, наоборот, вытянутом положении тела и рук неизбежно ведет к утомлению. Заготовка разного рода вспомогательных материалов должна производиться централизованно в цеховых кладовых или на специальных заготовительных участках и выдаваться обмотчикам по установленным нормам расхода на единицу изделия. Это в первую очередь относится к изоляционным материалам для изолировки обмоткодержателей (прессшпановые полосы и диски, лента, клеящие лаки и т. п.), изоляционным скобочкам, закладываемым в пазы, прокладкам на дно паза и между секциями, изоляции между лобовыми частями и под бандажами. Благодаря этому у обмотчика экономится много времени, которое раньше уходило на резку прессшпана, разведение шеллачного лака и т. п. Кроме того, достигается большая экономия в этих материалах, так как обмотчики, получая

их по нормам расхода, не разбрасывают изоляционные детали. Площадь цеха освобождается от обрезков изоляционных материалов, которые получились при резке прессшпана самими обмотчиками, и достигается более экономный раскрой листов, при котором отходы от резки крупных кусков изоляционных материалов идут на мелкие детали. Вместе с этим понижается потребность в оборудовании для резки листовых материалов (рычажные, ручные и дисковые ножницы), так как, будучи сконцентрированными в одном месте, они могут обслужить весь цех, в то время как раньше такое оборудование надо было иметь на каждом участке. Вспомогательные материалы в виде заготовок комплектуются обычно на каждый якорь или статор и выдаются обмотчикам вместе с нарядом на производство обмотки. Такие же комплекты изоляции и скобочек комплектуются для бандажировки якорей и других операций. При разделении технологического процесса обмотки на отдельные операции чертежи обмоток должны храниться в цеховой раздаточной, и обмотчик получает чертеж только перед началом выполнения данной обмотки. Для сокращения количества экземпляров больших чертежей, они заменяются для отдельных операций технологическими картами, содержащими необходимые технические указания по выполнению данной операции. Таким образом, бандажировщик не тратит времени на то, чтобы в чертеже обмотки отыскать диаметр проволоки, число витков и количество скобочек, а имеет все эти данные в операционной карте. Полным чертежом обмотки пользуются только обмотчик, выполняющий обмотку данного якоря, контролер и мастер. Данные общего порядка, как, например, натяжение бандажной проволоки при намотке бандажей в зависимости от ее диаметра, выполняются в виде таблиц и вывешиваются у бандажировочного станка. В обмоточных работах огромное влияние имеет рациональное освещение рабочих мест. Обмоточные цехи должны располагаться в светлых помещениях, стекла которых должны периодически протираться от пыли и копоти. Электрические лампы должны быть у каждого рабочего места. При обмотке крупных изделий пользуются переносными лампами, которые в целях предупреждения от поражения током должны питаться от источника с пониженным напряжением 12, 24 или 36 В, обычно получаемым от трансформатора. При плохом освещении обмотчик может не заметить повреждения изоляции или попадания посторонних тел в обмотку. Обмотанные якоря и роторы требуют бережного обращения с ними. Поэтому для них делаются специальные низкие столы, покрытые листами чистого картона, на которые якоря кладутся после обмотки. Еще лучше складывать их на специальные стойки с опорами под шейки вала. При укладке якоря на пол секции легко могут быть повреждены изгибающимися зубцами якоря или посторонними предметами. При транспортировке обмотанных якорей краном грузоподъемные канаты должны захватываться за шейки вала и не должны задевать лобовых частей обмотки, для чего применяются специальные распорки между натянутыми штропами.

111. ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА НА РАБОЧЕМ МЕСТЕ

Под организацией труда на рабочем месте подразумеваются следующие мероприятия: подготовка рабочего места к работе, осмотр, проверка, регулировка и смазка оборудования, ознакомление с заданием, проверка заготовок, подготовка необходимых для работы инструментов, приспособлений, приемка рабочего места перед работой и сдача его после работы. Кроме того, в задачу организации труда входит применение рационального технологического процесса и приемов работы, механизация трудовых процессов, устранение непроизводительных затрат времени, уплотнение трудовых и производственных процессов, отделение вспомогательных процессов от основных и т. д. Формы организации труда зависят от характеристики рабочего места, так как одни рабочие имеют дело со станочным оборудованием, как, например, бандажировщики или токари по обточке коллекторов, другие же, как, например, обмотчики якорей и статоров, используют в основном ручной труд. Тем не менее, перечисленные основы организации труда в основном остаются общими для всех участков работ по обмоткам электрических машин. Основным правилом, пример

выполнения которого показали рабочие-стахановцы, является заблаговременная подготовка к работе. Получая новую работу, обмотчик должен заранее ознакомиться с чертежами, выяснить все вопросы, которые у него возникают, получить необходимые материалы, инструменты и приспособления, получить сдельный наряд с проставленной на нем нормой времени и с началом смены приступить к работе. Если дело идет об участке с непрерывным использованием оборудования, как, например, сушильные и пропиточные участки, то рабочий должен принять смену у своего сменщика, проверить в соответствующих журналах записи температуры и давления в рабочих камерах и, убедившись, что все в порядке, вступить на свою смену. Рабочие станочники (бандажировщики, токари) сдают один другому оборудование в чистом, смазанном и исправном виде. Подробный инструктаж по приемке и сдаче работы рабочие должны получить у мастера, который должен всегда при этом присутствовать и проверять выполнение всех установленных правил. В тех производствах, где эти основные правила не выполняются, происходят огромные потери рабочего времени, которые отражаются на производительности труда и на заработке рабочих - сдельщиков. Рационализация технологического процесса и приемов работы проводится путем составления технологических карт, в основу которых положено разделение трудоемких операций на более легкие и отделение вспомогательных процессов от основных, за счет чего сокращаются непроизводительные затраты времени. При составлении технологических карт широко используется опыт лучших стахановцев. О выделении работ по заготовке изоляционных материалов подробно было сказано в предыдущем параграфе. На характерные операции отделом главного технолога составляются типовые технологические карты, по которым цеховые технологи составляют операционные карты для определенных работ. Примером механизации трудовых процессов может служить перевод ручной пайки коллекторов на пайку в ванне, резко снижающую потребное число часов на данную операцию. Большую роль в механизации трудовых процессов играет цеховой и межцеховой транспорт. Для перевозки тяжелых изделий применяются мостовые краны, вагонетки, которые ходят по рельсам, сообщающим обмоточное отделение с сушилками, электрокары и ручные тележки. При массовом производстве небольших изделий устанавливаются конвейеры, при которых изделие перемещается от одной операции к другой по движущейся ленте; в конце ее выходит готовое изделие. В зависимости от организации производства движение ленты может быть непрерывное или прерывистое через определенные промежутки времени. Скорость движения ленты устанавливается в соответствии с продолжительностью отдельных операций, которые должны быть на разных рабочих местах одинаковыми. Выполнение работы может производиться или на самой ленте или со снятием изделия с ленты в зависимости от веса и количества выпускаемых изделий.

112. СТАХАНОВСКИЕ МЕТОДЫ В ОБМОТОЧНЫХ РАБОТАХ

Основой стахановского движения в обмоточных работах является улучшение и рационализация применяемых рабочих приемов, а также упорядочение общих организационно-технических условий, влияющих на сокращение непроизводительной траты рабочего времени. Раньше помимо непосредственной работы по обмотке рабочий был занят еще получением деталей, различного рода проверкой, подгонкой и даже изготовлением заготовок (пазовые прокладки, скобочки и т. п.). Сущность стахановских мероприятий сводится к следующему:

1. Систематическое хранение различного рода образцов и шаблонов, получаемых в процессе обмотки машин, и последующее использование их при повторном появлении аналогичных машин на производстве, благодаря чему устраняется повторная подгонка, а следовательно, и излишний расход рабочего времени.
2. Освобождение обмотчика от затраты времени на получение и доставку к рабочему месту деталей, материалов и пр. Обмотчик лишь принимает доставленный ему специальным рабочим материал.

3. Выделение специальной резчицы изоляции, выполняющей заготовку по образцу, указанному обмотчиком или мастером.
4. Выполнение решений производственных и специальных совещаний и устранение конструктивных неполадок.
5. Обмен опытом с заготовительными мастерскими в целях улучшения качества их продукции, применяемой при обмотке машин.
Рационализация стахановцами рабочих приемов заключается в том, что устраняются лишние движения путем группировки отдельных операций. Для того чтобы рационализировать процесс, надо разложить его на мелкие операции, выявить лишние движения и перестроить работу так, чтобы устранить их. Поэтому принцип стахановских приемов работы состоит в том, что экономится число элементарных операций, и хотя время на каждую операцию удлиняется, но общая производительность труда резко возрастает. Для пояснения разберем такой пример. При вкладывании в пазы ротора стержневой обмотки обмотчик должен произвести следующие операции:
1) вложить в паз гильзу;
2) напарафинить стержень;
3) вставить стержень в паз.
Если разбить эти операции на составляющие их приемы, получится следующий перечень этих приемов при вкладывании одного стержня:
1) взять с верстака гильзу; 6) напарафинить стержень;
2) повернуться к ротору; 7) положить парафин на верстак;
3) вставить гильзу в паз; 8) повернуться к ротору;
4) повернуться к верстаку; 9) вставить стержень в паз ротора;
5) взять стержень и парафин; 10) повернуться к верстаку.
Для остальных стержней эти приемы повторяются столько раз, сколько стержней в обмотке ротора. Рассматривая этот перечень, легко догадаться, что приемы 2, 4, 7, 8 и 10 можно не повторять при каждом стержне, если изменить последовательность операций. Для того чтобы избежать лишних движений, стахановец весь процесс укладки стержней обмотки выполняет пооперационно, т. е. сначала вставляет во все пазы ротора гильзы, затем натирает все стержни парафином, и лишь после этого приступает к вкладыванию их в пазы ротора. При этом придется только один раз взять и отложить парафин, и отпадают лишние повороты обмотчика от ротора к верстаку. На следующей таблице, составленной из сравнения приемов работы трех обмотчиц по обмотке статора, наглядно видно, что дает рационализация приемов работы.

Показатели	Обмотчица низкой квалификации	Обмотчица средней квалификации	Стахановка
Общее количество приемов, потраченных при обмотке статора.	5648	4353	2474
Средняя продолжительность одного приема в секундах.	1,42	1,12	1,4
Время, потраченное на обмотку одного статора, в минутах.	133,7	81,3	57,7

Толщина изоляции (на обе стороны) для различных марок, обмоточных проводов устанавливается следующей таблицей:

Таблица 2

Марка провода	Толщина изоляции при диаметре голого провода, мм.									
	От 0,1 до 0,19	От 0,2 до 0,25	От 0,27 до 0,29	От 0,31 до 0,38	От 0,41 до 0,49	От 0,51 до 0,69	От 0,72 до 0,96	От 1,0 до 1,45	От 1,5 до 2,1	От 2,26 до 5,2
ПЭ	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	-
ПЭШО	0,075	0,09	0,1	0,105	0,110	0,115	0,125	0,135	-	-
ПБО	-	0,1	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,14	0,14	-
ПБД	-	0,19	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,27	0,27	0,33
ПЭБО	-	0,125	0,155	0,16	0,165	0,17	0,18	0,21	0,2	-

Пример. Какой диаметр имеет изолированный провод марки ПБД, если диаметр голого провода равен 1,20 мм. ? По табл. 2 входим толщину изоляции на пересечении четвертой горизонтальной строки (ПБД) с восьмой вертикальной графой (от 1,0 до 1,45). Она равна 0,27 мм. Диаметр изолированного провода будет 1,20 + 0,27 = 1,47 мм. Номинальные размеры и расчетные сечения голых проводов прямоугольного сечения, служащих для изготовления обмоточных проводом, приведены в табл. 3. В таблице приведены поперечные сечения проводов с учетом закруглений на углах. Поэтому расчетные сечения, указанные и таблице, меньше площади прямоугольника, которая равна произведению двух сторон. Например, площадь прямоугольника со сторонами 2,44 и 4,1 мм будет равна 2,44 × 4,1 = 10 мм^2, а действительная площадь поперечного сечения проводника с такими размерами сторон будет равна 9,52 мм^2. Это можно видеть в табл. 3, если взять меньшую сторону сечения 2,44 мм на верхней горизонтальной строке, а большую сторону 4,1 мм на левой горизонтальной строке, то на пересечении линий, проведенных от этих чисел вниз и вправо, мы найдем в таблице число 9,52, которое и обозначает поперечное сечение проводника с учетом закруглений на углах.

Таблица 3

Большая сторона сечения, мм	Меньшая сторона сечения, мм																								
	0,90	1,00	1,08	1,16	1,25	1,35	1,45	1,56	1,68	1,81	1,95	2,1	2,26	2,44	2,63	2,83	3,05	3,28	3,53	3,8	4,1	4,4	4,7	5,1	5,5
	Расчетные сечения, мм^2																								
2,10	1,82	1,89	2,06	2,23	2,42	2,63	2.84	3,07	3,32	3.59	—	3,92	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,26	1,96	2,05	2,23	2,41	2,62	2,84	3,07	3,32	3,59	3.83	—	—	4,63	—	5,46	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,44	2,13	2,23	[illegible]	2,62	2,84	3.08	3,33	3,60	3,89	4,21	4,55	4,64	—	5,37	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,63	2.30	[illegible]	[illegible]	2,84	3.08	3,31	3,60	3,80	4,21	4,55	4,92	5,04	—	5,91	6,44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,83	2,48	2,62	2,85	3.07	3.33	3,61	3.89	4,20	4,54	4,91	5,31	5,46	5,92	[illegible]	—	7,53	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,05	—	2,84	3,08	3.33	3,60	3,91	4,21	4,55	4,91	5.31	5,74	5,93	6,41	6,96	7,54	8,15	8,72	—	—	—	—	—	—	—	—
3,28	—	3,07	3,33	3,60	3,89	4,22	4,55	4,91	5,30	5,73	6,19	6,41	6,93	7,52	8,15	8,80	—	10.3	—	—	—	—	—	—	—
3,53	—	3.32	3.60	3,89	4,20	4,56	4,91	5,30	5,72	6,18	6,67	6,93	7,50	8.13	8,80	9,51	10,3	11,1	12,0	—	—	—	—	—	—
3,8	—	3,59	3,89	4,20	4,54	4,92	5.30	5,72	6,17	6,67	7,20	7,50	8,11	8,79	9.51	10,3	11,1	12,0	—	13.9	—	—	—	—	—
4,1	—	3,89	4,22	4,55	4 92	5,33	5,74	6,19	6,68	7,21	7,79	8,13	8,79	9,52	10,3	11,1	12,0	13,0	14,0	15,1	15,9	—	—	—	—
4,4	—	4,19	4,54	4,89	5.29	5,73	6,17	6.65	7,18	7,75	8,37	8,76	9,46	10,2	11,1	12,0	12,9	13,9	15,0	16,2	17,1	18,5	—	—	—
4,7	—	4,49	4,87	5,24	5.67	6,14	6,61	7,12	7,79	8,30	8,96	9,39	10,1	11,0	11,9	12,8	13,8	14,9	16,1	17,4	18,4		—	—	—
5,1	—	4,89	5,30	5,71	6,17	6,68	7,19	7,75	8,36	9,02	9,74	10,2	11,0	11,9	12,9	13,9	15,1	16,2	17,5	18,9	20,0	21,5	—	25.1	—
5,5	—	5,29	5,73	6 17	6,67	7,22	7,77	8,37	9,03	9,75	10,5	11 1	11,9	12,9	14,6	15,1	16,8	17,5	18.9	20,4	21,7	23,3	25,07	27,2	—
5,9	—	5,69	6,15	6,63	7,17	7,76	8,35	8.99	9,70	10,5	11,3	11,9	12,8	13,9	15,0	16,2	17,5	18.9	20,3	21,9	23,3	25,1	26,8	29,2	—
6,4	—	6,19	6,70	7,21	7,79	8,43	9.07	9,77	10,6	11,4	12,3	12,9	14,0	15,1	16,3	17,6	19,0	20,5	22.1	23.8	25,3	27,3	29.2	31,7	34,3
6,9	—	6,69	7,21	7,79	8,42	9,11	9,79	10,6	11,4	12.3	13,3	14,0	15,1	16.3	17,7	19,0	20,6	22,1	23,9	25,7	[illegible]	29,5	31,5	34,3	37,1
7,4	—	7.19	7,78	8,37	9,04	9,78	10,5	11,3	12,6	13,3	14,2	15,0	16,2	17,6	19,0	20,4	22.1	23,6	25,6	27,6	29.4	31,7	33,9	36,8	39,8
8,0	—	7,79	8,43	9,07	9,79	10,6	11.4	12,3	13 2	14,4	15,4	16,3	17,6	19,0	20,5	22.1	23,9	25,7	27,7	29,3	31,9	34,3	36,7	39.9	43,1
8,6	—	8,39	9,08	9,77	10,6	11,4	12,3	13,2	14,2	15,5	16,6	17,6	18,9	20,5	22,1	23,8	25,7	27,7	29,9	32,2	[illegible]	36,9	39,5	43.0	46,4
9,3	—	—	—	—	—	12,4	13,3	14,3	15,4	16,6	17,9	19,0	20,5	22,2	24,0	25,8	27.9	30,0	32,3	[illegible]	37,2	40,0	42,8	46,5	50,3
10	—	—	—	—	—	—	—	15,4	16,6	17,9	19,3	20.5	22,1	23,9	25,8	27,8	30,0	32.3	34,8	37,5	40.1	43,1	46,1	50,1	54,1
10,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19,3	20,9	22,2	23,9	25,9	27,9	30,1	32,4	34.9	37,6	40.5	[illegible]	46,6	49,9	54,2	58,5
11,6	—	—	—	—	—	—	—	—	-	—	—	23.9	25,7	27,8	30,0	32,3	34,9	37.5	40,5	43.6	46,7	50,1	53,6	58.3	62,9
12,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	25,8	27,8	30,0	32,4	34,9	37,6	40,5	43,6	47,0	54,1	54,1	57,9	62,9	67,9
13,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	32,4	35,0	37,7	40,7	43,8	47,2	50,8	54.5	58,5	62,6	68,0	73,4
14,5	—	—	—	—	—	-	—	—	—	—	—	—	—	34,9	37,6	40,5	43,7	47,1	50,6	54,6	58,6	62,9	67,3	71,1	78,9

Размеры изолированного проводника можно определить при помощи табл. 2. Для этого надо взять в таблице толщину изоляции» соответствующую марке провода и размеру меньшей стороны сечения по верхней горизонтальной строке табл. 2. Например, голый прямоугольный провод размерам 2,44 × 4,1 мм, с двойной хлопчатобумажной оплеткой, будет иметь толщину изоляции ив обе стороны по 0,33 мм (табл. 2). Полное обозначение такого провода будет такое: провод ПБД 2,44 × 4,1 / 2,77 × 4,43. Над чертой обозначены размеры сторон голого провода, а под чертой — соответственные размеры изолированного провода.